

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

SUPERVISIÓN Y CONTROL DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Memoria y Anexos

Autor: Eduardo Rafael Chuquitarqui Valladares
Director: Javier Francisco Gámiz Caro
Departamento ESAll
Convocatoria: Octubre, 2019

ÍNDICE DOCUMENTACIÓN PROYECTO

Índice documentación proyecto	2
Índice de imágenes.....	5
Índice de tablas.....	11
Resumen	12
Resum.....	13
Abstract	14
Agradecimientos	15
Capítulo 1: Introducción	16
1.1. Objetivos	16
1.2. Motivación y justificación	17
1.3. Alcance.....	17
1.4. Antecedentes	17
Capítulo 2: Analisis del problema	18
2.1. Descripción del proceso a automatizar.....	18
2.1.1. Química, Física y Biología del proceso	18
2.1.2. Modelo del proceso	19
2.2. Sistema de control.....	21
2.2.1. Equipos	22
2.2.2. Fases del proceso	22
2.2.3. Lazos de control	23
2.3. Requerimientos funcionales.....	25
2.4. Requerimientos de diseño.....	26
2.5. Metodología de desarrollo	28
2.6. Planificación de las tareas	30
2.7. Recursos	31
Capítulo 3: Diseño e implementación de la solución	32
3.1. Arquitectura del sistema de control.....	32
3.1.1. Hardware del sistema.....	32
3.1.2. Software del sistema.....	32
3.1.3. Vista global de las comunicaciones.....	32
3.1.4. Comunicaciones SCADA-Controlador-Proceso	33
3.2. Simulación del proceso.....	34
3.2.1. Bloques del sistema	34
3.2.2. Estructura de simulación	34

3.2.3. Diseño del código embebido	35
3.3. Descomposición del problema de control	61
3.4. Codificación de los elementos y sistemas	62
3.5. Definición de las interfaces del sistema de control.....	62
3.6. Definición del fichero de intercambio Controlador-SCADA	63
3.7. Programa del controlador	72
3.7.1. Estructura del programa	72
3.7.2. Definición de los tipos de datos	73
3.7.3. Lógica de control de los elementos	73
3.7.5. Secuencias de control	77
3.7.6. Regulaciones PID.....	89
3.8. Programa del software SCADA.....	95
3.8.1. Árbol de Navegación	95
3.8.2. Definición de los tipos de datos	95
3.8.3. Diseño de las pantallas de la aplicación	95
3.8.4. Diseño de los comandos	96
3.8.5. Scripts	98
3.8.6. Diseño de la interfaz de alarmas del sistema.....	113
3.8.7. Gestión de usuarios	113
3.8.8. Gráficos de históricos y tendencias	114
Capítulo 4: Pruebas y resultados	115
4.1. Diseño de las pruebas de entradas y salidas físicas	115
4.2. Diseño de las pruebas de funcionalidad	115
4.3. Diseño de las pruebas entre Controlador y SCADA	116
4.4. Resultado de las pruebas.....	117
Capítulo 5: Normativa.....	120
5.1. Metodología de desarrollo	120
5.2. Codificación e Identificación	120
5.3. Implementación del programa del PLC	120
5.4. Programación del SCADA.....	120
Capítulo 6: Conclusiones	121
Capítulo 7: Bibliografía	122
7.1. Libros, revistas y PDF's.....	122
7.2. Enlaces	123
Anexo I. PRESUPUESTO ECONÓMICO	124
Anexo II. PANTALLAS DE SCADA. ÁRBOL DE NAVEGACIÓN	126

Anexo III. PrOGRAMA DEL PLC	132
-----------------------------------	-----

ÍNDICE DE IMÁGENES

- [1] **Vista frontal de la etapa de elevación.** (Fuente Propia)
- [2] **Vista frontal de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [3] **Vista de perfil de la etapa de desarenado.** (Fuente Propia)
- [4] **Vista de perfil de la etapa de decantación primaria.** (Fuente Propia)
- [5] **Vista de perfil de la etapa de decantación secundaria.** (Fuente Propia)
- [6] **Vista de perfil de la etapa de cloración de agua.** (Fuente Propia)
- [7] **Fases de la etapa de decantación primaria.** (Fuente Propia)
- [8] **Lazo de control del flujo entrante de agua.** (Fuente Propia)
- [9] **Dos lazos de control en cascada que regula el nivel de floculo.** (Fuente Propia)
- [10] **Lazo de control que regula la concentración de cloro.** (Fuente Propia)
- [11] **Tareas realizadas.** (Fuente Propia)
- [12] **Vista global de las comunicaciones.** (Fuente Propia)
- [13] **Comunicación SCADA-Controlador-Proceso.** (Fuente: PDF de la asignatura de ISA)
- [14] **Vista de todas las rutinas dentro de la carpeta PlanSimulation.** (Fuente Propia)
- [15] **Vista de todos los Add-On creados.** (Fuente Propia)
- [16] **Add-On DosingPump.** (Fuente Propia)
- [17] **Add-On LinearActuator.** (Fuente Propia)
- [18] **Add-On LinearActuator.** (Fuente Propia)
- [19] **Add-On MotorElevator.** (Fuente Propia)
- [20] **Add-On MotorElevator.** (Fuente Propia)
- [21] **Add-On Volume.** (Fuente Propia)
- [22] **Rutina de motores de tipo elevador.** (Fuente Propia)
- [23] **Rutina de actuadores lineales.** (Fuente Propia)
- [24] **Rutina de motores sumergibles.** (Fuente Propia)
- [25] **Rutina de bombas dosificadoras.** (Fuente Propia)
- [26] **Rutina de compresores centrífugos.** (Fuente Propia)
- [27] **Rutina de válvulas todo/nada.** (Fuente Propia)

- [28] Rutina de motores.** (Fuente Propia)
- [29] Código de la válvula reguladora de agua del decantado primario.**
(Fuente Propia)
- [30] Esquema del volumen, sus caudales de entrada y salida de la etapa de elevación.** (Fuente Propia)
- [31] Código embebido de la etapa de elevación.** (Fuente Propia)
- [32] Código embebido de la etapa de elevación.** (Fuente Propia)
- [33] Código embebido de la etapa de elevación.** (Fuente Propia)
- [34] Esquema del volumen antes del desbaste y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [35] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [36] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [37] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [38] Esquema del volumen de basura gruesa y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [39] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [40] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [41] Esquema del volumen de agua entre desbaste grueso y fino y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [42] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [43] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [44] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [45] Esquema del volumen de basura fina y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [46] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [47] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [48] Código de la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [49] Esquema del volumen de arena y sus caudales de entrada y salida.**
(Fuente Propia)
- [50] Código de la etapa de desarenado.** (Fuente Propia)
- [51] Código de la etapa de desarenado.** (Fuente Propia)
- [52] Código de la etapa de desarenado.** (Fuente Propia)
- [53] Código de la etapa de desarenado.** (Fuente Propia)
- [54] Relación entre reactivo químico, agua y floculante.** (Fuente Propia)

- [55] Esquema del volumen de floculante y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [56] Código de la etapa de decantado primario.** (Fuente Propia)
- [57] Código de la etapa de decantado primario.** (Fuente Propia)
- [58] Código de la etapa de decantado primario.** (Fuente Propia)
- [59] Esquema del volumen del floculante del decantado secundario y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [60] Código de la etapa de decantado secundario.** (Fuente Propia)
- [61] Código de la etapa de decantado secundario.** (Fuente Propia)
- [62] Código de la etapa de decantado secundario.** (Fuente Propia)
- [63] Esquema del volumen del agua de la cámara de cloración y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [64] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [65] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [66] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [67] Esquema del volumen del cloro de la cámara de cloración y sus caudales de entrada y salida.** (Fuente Propia)
- [68] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [69] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [70] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [71] Código de la etapa de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)
- [72] Pantalla de RSLogix 5000 Enterprise.** (Fuente Propia)
- [73] Vista de la ventana Controller Organizer del RSLogix 5000 Enterprise.** (Fuente Propia)
- [74] Tipos de datos utilizados.** (Fuente Propia)
- [75] Código de control del motor sumergible.** (Fuente Propia)
- [76] Código de control del motor sumergible.** (Fuente Propia)
- [77] Código de control del motor sumergible.** (Fuente Propia)
- [78] Código de control del motor sumergible.** (Fuente Propia)
- [79] Código de control de bomba dosificadora.** (Fuente Propia)
- [80] Código de control de bomba dosificadora.** (Fuente Propia)
- [81] Código de control de bomba dosificadora.** (Fuente Propia)
- [82] Código de control de válvula reguladora.** (Fuente Propia)
- [83] Código de control de válvula reguladora.** (Fuente Propia)

- [84] Código de control de válvula reguladora.** (Fuente Propia)
- [85] Código de control de válvula todo/nada.** (Fuente Propia)
- [86] Código de control de válvula todo/nada.** (Fuente Propia)
- [87] Código de control de válvula todo/nada.** (Fuente Propia)
- [88] Código de control de válvula todo/nada.** (Fuente Propia)
- [89] Código de control de motor.** (Fuente Propia)
- [90] Código de control de motor.** (Fuente Propia)
- [91] Código de control de motor.** (Fuente Propia)
- [92] Código de control de motor.** (Fuente Propia)
- [93] Código de control de motor para elevación.** (Fuente Propia)
- [94] Código de control de motor para elevación.** (Fuente Propia)
- [95] Código de control de motor para elevación.** (Fuente Propia)
- [96] Código de control de motor para elevación.** (Fuente Propia)
- [97] Código de control del actuador lineal.** (Fuente Propia)
- [98] Código de control del actuador lineal.** (Fuente Propia)
- [99] Código de control del sistema de elevación.** (Fuente Propia)
- [100] Código de control del sistema de elevación.** (Fuente Propia)
- [101] Código de control del sistema de elevación.** (Fuente Propia)
- [102] Código de control del sistema de desbaste.** (Fuente Propia)
- [103] Código de control del sistema de desbaste.** (Fuente Propia)
- [104] Código de control del sistema de desbaste.** (Fuente Propia)
- [105] Código de control del sistema de desbaste.** (Fuente Propia)
- [106] Código de control del sistema de desbaste.** (Fuente Propia)
- [107] Código de control del sistema de desarenado.** (Fuente Propia)
- [108] Código de control del sistema de desarenado.** (Fuente Propia)
- [109] Código de control del sistema de decantado secundario.** (Fuente Propia)
- [110] Código de control del sistema de decantado secundario.** (Fuente Propia)
- [111] Código de control del sistema de decantado primario.** (Fuente Propia)
- [112] Código de control del sistema de decantado primario.** (Fuente Propia)

[113] Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente Propia)

[114] Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente Propia)

[115] Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente Propia)

[116] Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente Propia)

[117] Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente Propia)

[118] Código de control del sistema de cloración de agua. (Fuente Propia)

[119] Código de control del sistema de cloración de agua. (Fuente Propia)

[120] Código de control del sistema de cloración de agua. (Fuente Propia)

[121] Diseño de la ventana principal. (Fuente Propia)

[122] Diseño de la ventana de una etapa del proceso. (Fuente Propia)

[123] Diseño de una ventana de comando. (Fuente Propia)

[124] Diseño de una ventana de comando de sistema. (Fuente Propia)

[125] Script en la ventana River. (Fuente Propia)

[126] Script en la ventana Elevation & Roughing. (Fuente Propia)

[127] Script en la ventana Elevation & Roughing. (Fuente Propia)

[128] Script en la ventana Elevation & Roughing. (Fuente Propia)

[129] Script en la ventana Desanding. (Fuente Propia)

[130] Script en la ventana Desanding. (Fuente Propia)

[131] Script en la ventana Desanding. (Fuente Propia)

[132] Script en la ventana Desanding System. (Fuente Propia)

[133] Script en la ventana Primary Decanting. (Fuente Propia)

[134] Script en la ventana Primary Decanting. (Fuente Propia)

[135] Script en la ventana Primary Decanting System. (Fuente Propia)

[136] Script en la ventana Primary Decanting System. (Fuente Propia)

[137] Script en la ventana Secondary Decanting. (Fuente Propia)

[138] Script en la ventana Chlorination System. (Fuente Propia)

[139] Script en la ventana Dosing Pump. (Fuente Propia)

[140] Script en la ventana Elevator Motor. (Fuente Propia)

[141] Script en la ventana Flow Control Valve. (Fuente Propia)

- [142] Script en la ventana Linear Actuator.** (Fuente Propia)
- [143] Script en la ventana Motor.** (Fuente Propia)
- [144] Script en la ventana Submersible Motor.** (Fuente Propia)
- [145] Script en la ventana Valve.** (Fuente Propia)
- [146] Script en la carpeta Application.** (Fuente Propia)
- [147] Ventana de alarmas de tipo histórico.** (Fuente Propia)
- [148] Ventana de acceso de usuario.** (Fuente Propia)
- [149] Ventana de datos históricos.** (Fuente Propia)
- [150] Tipo de control todo/nada.** (Fuente Propia)
- [151] Método de lazo cerrado mediante PID.** (Fuente Propia)
- [152] Datos históricos del nivel de agua en la etapa de elevación.** (Fuente Propia)
- [153] Datos históricos del nivel de agua en la etapa de desbaste.** (Fuente Propia)
- [154] Datos históricos del nivel de arena del desarenado 1.** (Fuente Propia)
- [155] Datos históricos del nivel de arena del desarenado 2.** (Fuente Propia)
- [156] Datos históricos del nivel de floculante del decantado primario 1.** (Fuente Propia)
- [157] Datos históricos del nivel de floculante del decantado primario 2.** (Fuente Propia)
- [158] Datos históricos del nivel de floculante del decantado secundario.** (Fuente Propia)
- [159] Datos históricos de la concentración de cloro de la cámara de cloración.** (Fuente Propia)

ÍNDICE DE TABLAS

- [1] Fichero de intercambio del actuador línea. (Fuente Propia)
- [2] Fichero de intercambio del actuador línea. (Fuente Propia)
- [3] Fichero de intercambio de motor para elevación. (Fuente Propia)
- [4] Fichero de intercambio de motor para elevación. (Fuente Propia)
- [5] Fichero de intercambio del motor sumergible. (Fuente Propia)
- [6] Fichero de intercambio del motor sumergible. (Fuente Propia)
- [7] Fichero de intercambio de válvula todo/nada. (Fuente Propia)
- [8] Fichero de intercambio de válvula todo/nada. (Fuente Propia)
- [9] Fichero de intercambio de bomba dosificadora. (Fuente Propia)
- [10] Fichero de intercambio de bomba dosificadora. (Fuente Propia)
- [11] Fichero de intercambio de válvula reguladora. (Fuente Propia)
- [12] Fichero de intercambio de válvula reguladora. (Fuente Propia)
- [13] Fichero de intercambio de motor simple. (Fuente Propia)
- [14] Fichero de intercambio de motor simple. (Fuente Propia)
- [15] Fichero de intercambio de medidor. (Fuente Propia)
- [16] Fichero de intercambio de medidor. (Fuente Propia)
- [17] Fichero de intercambio de detector. (Fuente Propia)
- [18] Fichero de intercambio de detector. (Fuente Propia)

RESUMEN

Este trabajo consiste en la supervisión y control de una planta de tratamiento de aguas residuales. Esto es una extensión del PBL de la asignatura de Integración de Sistemas Automáticos (ISA). Las etapas que se hicieron en este trabajo son: la elevación, el desbaste, el desarenado, la decantación primaria y la cloración del agua. también se ha modificado la etapa de decantación secundaria que ya estaba hecho en el PBL y se ha repetido la etapa de aireación de agua (o tratamiento biológico), ya que la decantación secundaria y cloración de agua dependen del flujo de entrada de la etapa de aireación de agua.

Este trabajo se llevó a cabo en casa ya que los programas necesarios para hacerlo, se copiaron de uno de los ordenadores del Laboratorio de Automatización y Robótica Industrial. Cuando aparecieron algunas dudas, se recurrió a tener reuniones con el director para aclararlos.

Para comprobar si se acertó en la confección de estos códigos, se corrió el código y se observó el comportamiento mediante la interfaz.

Como se cursó las asignaturas de Integración de Sistemas Automáticos y Sistemas de Información y Comunicación Industrial, se ha partido con conocimientos previos que han ayudado a decidir la manera cómo resolver muchos problemas que han aparecido en este trabajo.

RESUM

Aquest treball consisteix en la supervisió i control d'una planta de tractament d'aigües residuals. Això és una extensió del PBL de l'assignatura d'Integració de Sistemes Automàtics (ISA). Les etapes que es van fer en aquest treball són: l'elevació, el desbast, el desarenat, la decantació primària i la cloració de l'aigua. també s'ha modificat l'etapa de decantació secundària que ja estava fet en el PBL i s'ha repetit l'etapa de ventilació d'aigua (o tractament biològic), ja que la decantació secundària i cloració d'aigua depenen del flux d'entrada de l'etapa de ventilació d'aigua.

Aquest treball es va dur a terme a casa ja que els programes necessaris per a fer-ho, es van copiar d'un dels ordinadors del Laboratori d'Automatització i Robòtica Industrial. Quan van aparèixer alguns dubtes, es va recórrer a tenir reunions amb el director per aclarir-los.

Per comprovar si es va encertar en la confecció d'aquests codis, s'ha verificat les accions quan es corria el codi i s'ha observat per mitjà de la interfície.

Com es va cursar les assignatures d'Integració de Sistemes Automàtics i Sistemes d'Informació i Comunicació Industrial, s'ha partit amb coneixements previs que han ajudat a decidir la manera com resoldre molts problemes que han aparegut en aquest treball.

ABSTRACT

This work consists of the supervision and control of a wastewater treatment plant. This is an extension of the PBL of the subject of Automatic Systems Integration (ISA). The stages that were made in this work are: the elevation, the roughing, the sanded, the primary decanting and the chlorination of the water. The secondary decanting stage, which was already done in the PBL, has also been modified and the water aeration stage (or biological treatment) has been repeated, since the secondary decantation and water chlorination depend on the inflow of the stage of water aeration.

This work was carried out at home since the programs necessary to do so were copied from one of the computers of the Automation and Industrial Robotics Laboratory. When some doubts appeared, it was resorted to having meetings with the director to clarify them.

To check if it was successful in making these codes, the code was run and the behavior was observed through the interface.

As the subjects of Integration of Automatic Systems and Systems of Information and Industrial Communication were studied, these have helped have start with previous knowledge to decide how to solve many problems that have appeared in this work.

AGRADECIMIENTOS

En el trabajo final de grado, para conseguir ciertos objetivos pareció imposible, por lo que no se pudo pretender ir solo en ese mar de incertidumbre, en esos momentos en blanco, personas en el entorno cercanos como no, ayudaron a desconectar y encontrar nuevamente el hilo de la solución. Por eso quiero dar las gracias a mi familia que me comprende y alienta en momentos difíciles, a los amigos que me han ayudado a desconectar, para ver las cosas desde otra perspectiva y a mi director del trabajo final de grado, que me ha proporcionado material necesario y ánimo para desenvolverme en este trabajo.

CAPITULO 1:

INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos

Los objetivos en este trabajo además de confeccionar los códigos de control, de simulación y animación del proceso a automatizar, fue también diseñar el entorno donde el usuario se va desenvolver en las acciones de supervisar y controlar. Este entorno o interfaz que se hizo, consiste al inicio de una ventana principal donde se encuentra un sinóptico de todas las etapas del proceso y otras ventanas donde se encuentran las etapas del proceso. Todas las ventanas tienen en común elementos con los que son fáciles de familiarizarse para el usuario, estos elementos son:

- El marcador del tiempo y el nombre de la etapa.
- Una ventana en el que se visualiza las alarmas tipo resumen.
- El símbolo de una campana donde se observa las alarmas tipo histórico.
- El símbolo de una interrogante donde se observa una breve descripción de la etapa.
- El símbolo de una etiqueta, en el que cuando se da clic se visualiza los nombres de los diferentes elementos que conforma la etapa.
- El símbolo de barras estadísticas, en el que se observa datos históricos que marcan los sensores.
- El símbolo de una llave, donde se observa y comanda todos los estados de los actuadores que se encuentran en la ventana. También se hace esta acción dando clic a cualquier actuador.
- Botones en la parte inferior izquierda donde se observa y comanda los estados en modo automático.
- El símbolo de un armario, donde se visualiza todos los elementos implicados en la comunicación.
- Botones con símbolo de flechas izquierda y derecha para pasar a la etapa anterior y posterior respectivamente.
- Botones con nombres de las etapas, para dirigirse a cada una de ellas.
- Etiqueta llamada usuario, donde el usuario se identifica para supervisar o comandar según el rango de este.

1.2. Motivación y justificación

Como estudiante de electrónica industrial y automática, se tuvo varios campos a escoger para el trabajo final de grado, se decantó por el campo de la automatización, porque es un campo que no solo requiere conocimientos de PLC, SCADA y comunicaciones, si no también requiere de conocimientos de distintas disciplinas como la química, la física, biología, etc. por lo que es un sin parar de aprender, ya que la automatización puede aplicarse en cualquier ambiente. Además, que las demandas laborales son altas. Un motivo más fue por haber cursado la asignatura de Integración de sistemas automáticos que ayudo a decidir que el proyecto sea una extensión, por lo que no se partió de cero si no con conocimientos básicos que ayudaron cuando aparecieron dificultades.

1.3. Alcance

En este trabajo lo primero que se hizo es recordar cómo utilizar el entorno RSLogix e Intouch de Wonderware. Segundo, comprender las etapas de tratamiento de aguas residuales. Tercero, comprender y recordar el código de simulación y de control del PBL. Cuarto con la ayuda de conocimientos básicos en otros campos como química, fluidos, etc. y navegación en internet para conocer más el entorno RSLogix e Intouch; crear el código de simulación y de control de las etapas de este trabajo. Y, por último, diseñar el interfaz, en el que se recurrió al programa de Microsoft Visio para los gráficos, ya que el entorno Intouch no se pueden hacer gráficos más complejos.

1.4. Antecedentes

Este trabajo como se mencionó en el resumen, es una extensión del PBL, por lo que los antecedentes son los conocimientos por haber cursado principalmente la asignatura de Sistemas de Información y Comunicación Industrial (SICIEIA) y la asignatura de Integración de Sistemas Automáticos (ISA).

En SICIEIA se tuvo información sobre los tipos de comunicación más usuales en la automatización con PLC's y SCADA's, también a utilizar la interfaz Intouch de Wonderware, en el que se aprendió a como programar por scripts para dar animación a la pantalla de supervisión.

En ISA se obtuvo conocimiento de cómo enlazar el programa de control y de interfaz, también a reforzar conocimientos y normativas sobre los temas de comunicación y pantallas de supervisión.

También se consideran como antecedentes otras asignaturas cursadas a lo largo de la carrera como química, fluidos, etc. que ayudaron a confeccionar sobre todo el código de simulación.

CAPITULO 2: ANALISIS DEL PROBLEMA

Los problemas que se plantearon son: simular la reacción del flujo de agua proveniente de unos ríos al ser tratada en un sistema de tratamiento de aguas residuales, hacer el control en modo automático y manual de este sistema y por ultimo diseñar y dar animación a la interfaz donde se lleva el control y la supervisión del sistema.

2.1. Descripción del proceso a automatizar

El proceso a automatizar consiste en siete etapas la cuales son: primero, la etapa de elevación que consiste en llevar aguas residuales provenientes de ríos a una superficie superior. La segunda etapa es el desbaste de grueso y fino, el desbaste de grueso consiste en no dejar pasar objetos de un volumen relativamente grande, en el desbaste de fino en no dejar pasar objetos de pequeño volumen. La tercera etapa consiste en el desarenado de las aguas salidas del desbaste, que se da por el asentamiento de la arena para luego ser retiradas. La cuarta etapa se trata de la decantación primaria que consiste en hacer reaccionar con unos químicos al agua salida de los desarenados y batiéndolo mediante un mezclador para asegurar la reacción total, que produce la existencia de floculantes, que después son retirados. La quinta etapa consiste en el tratamiento biológico, en el cual se introduce bacterias y se oxigena al agua salida del decantado primario para formar nuevamente floculantes. En la sexta etapa consiste en la decantación secundaria que es la retirada de floculantes producidos por el tratamiento biológico. Y la última etapa que consiste en la cloración de agua, en la que el agua se convierte potable para su distribución final.

2.1.1. Química, Física y Biología del proceso

Existen comportamientos físicos y químicos en las etapas de este trabajo, los cuales son:

En la etapa de elevación, se encuentra comportamientos físicos, en el que se asienta en la parte inferior los objetos más pesados, debido a la gravedad. Otro comportamiento físico es la acción de los tornillos de Arquímedes de trasladar el flujo de agua bruta desde una zona inferior a otra superior de altura.

En la etapa de desbaste el comportamiento físico que se considera es que objetos de gran volumen no puedan pasar en aberturas pequeñas debido a las rejillas, otras acciones físicas a considerar es que por medio de flujos líquidos a través de

actuadores lineales permite el movimiento de rastrillos para retirar la basura acumulada en las rejillas de los desbastes.

En la etapa de desarenado el comportamiento físico existente es la sedimentación por caída libre, esto se realiza por la acción de la gravedad.

En la etapa de decantación primaria se lleva comportamientos físicos y químicos. En el comportamiento químico trata de la reacción del agua proveniente del desbaste con reactivos químicos para eliminar materiales inorgánicos, además hay un batidor para asegurar la reacción total de los reactivos químicos. En el comportamiento físico esta la sedimentación por caída libre.

En la etapa de decantación secundaria se produce el comportamiento físico de sedimentación por caída libre.

En la etapa de cloración del agua el comportamiento es biológico porque consiste en matar los microorganismos que contiene el agua para volverla potable.

2.1.2. Modelo del proceso

En la etapa de elevación el modelo consiste de tres compuertas que dan paso a ríos que después son elevadas a una superficie superior por medio de tornillos de Arquímedes controlados por motores.

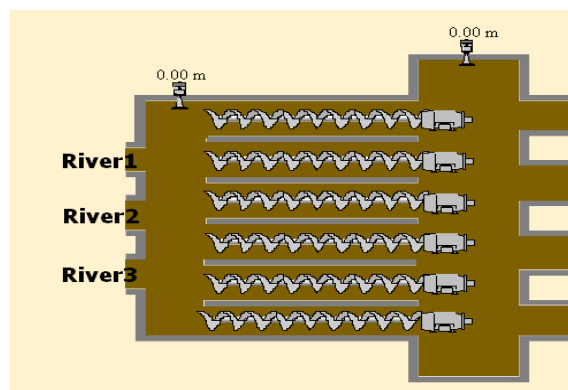


Figura 2.1. Vista frontal de la etapa de elevación. (Fuente [1] Propia)

En la etapa de desbaste consiste en el pase de agua a través de unas rejillas, estas rejillas pueden ser para objetos gruesos o finos. Las rejillas para gruesos tienen entre ellas aberturas algo grandes para impedir el paso de objetos de volumen relativamente grande, después están las rejillas para finos que tienen aberturas pequeñas para no dejar pasar objetos relativamente pequeños. Para retirar los desechos acumulados en las rejillas se utilizan rastrillos que son controlados por actuadores lineales.

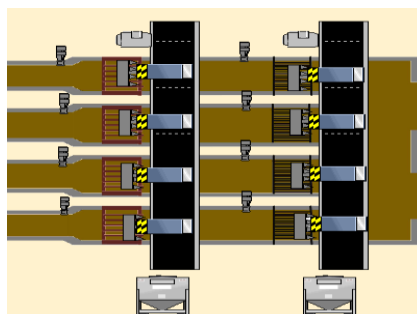


Figura 2.2. Vista frontal de la etapa de desbaste. (Fuente [2] Propia)

En la etapa de desarenado cuando se sedimenta la arena en la parte inferior del tanque, es recogida por tornillos de Arquímedes donde son chorreados por agua mediante válvulas todo/nada para el fácil traslado, también hay unas rasquetas que se mueven rotacionalmente controlados por motores para ayudar a sacar la arena en la parte inferior del tanque. Y otras rasquetas superficiales controlados mediante actuadores lineales para retirar las grasas que estén a flote.

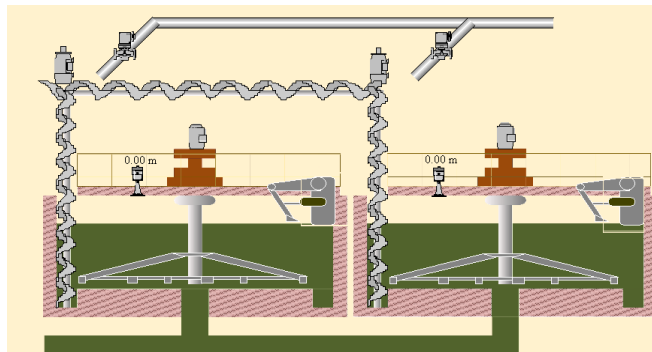


Figura 2.3. Vista de perfil de la etapa de desarenado. (Fuente [3] Propia)

En la etapa de decantado primario consiste que cuando está en marcha una bomba sumergible, la válvula reguladora de la entrada al flujo de agua al decantado primario, después una bomba dosificadora que proporciona reactantes químicos y con la ayuda de un batidor controlado por un motor, se forme el floculo, después otras hélices ayudan a que el floculante producido se vaya a un apartado del tanque donde con la ayuda de una rasqueta controlado por motor sea retirada el floculante mediante una válvula todo/nada.

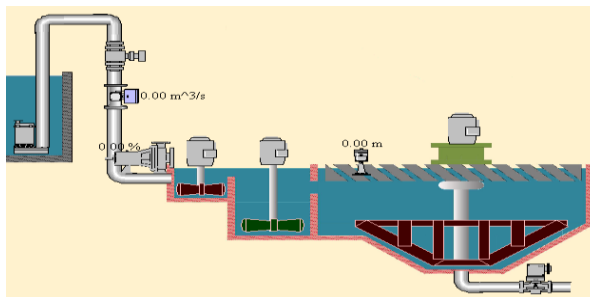


Figura 2.4. Vista de perfil de la etapa de decantación primaria. (Fuente [4] Propia)

En la etapa de decantación secundaria el floculo producido por el tratamiento biológico es arrastrado por medio una rasqueta controlado por un motor hacia una válvula todo/nada para ser retirada.

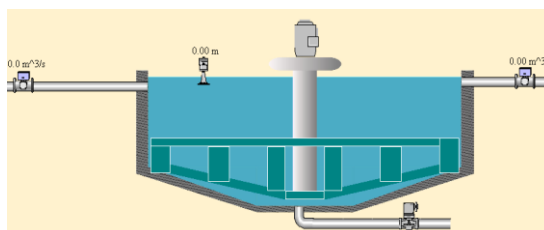


Figura 2.5. Vista de perfil de la etapa de decantación secundaria. (Fuente [5] Propia)

En la etapa de cloración de agua el flujo de agua salido de la decantación secundaria es tratada con cloro mediante una bomba dosificadora.

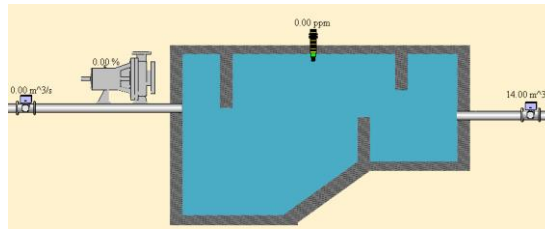


Figura 2.6. Vista de perfil de la etapa de cloración de agua. (Fuente [6] Propia)

2.2. Sistema de control

En la etapa previa a la elevación el control es evitar que se supere el valor de consigna fijado, para esto se pone en marcha unos tornillos de Arquímedes cuando sea necesario. La regulación es un control todo/nada.

En la etapa previa al desbaste el control es evitar que se pase el valor de consigna fijado, para esto se pone en marcha unos cilindros hidráulicos cuando sea necesario. La regulación que se aplica es un todo/nada.

En la etapa del desarenado el control es evitar que un nivel de arena fijado en su consigna se supere, para eso se pone en marcha unos tornillos de Arquímedes cuando sea necesario. La regulación que se aplica es un todo/nada.

En la etapa de decantado primario primeramente se controla el caudal de agua entrante mediante una válvula reguladora según su consigna dada, esto se hace mediante un PID. Una vez regulado el caudal de entrada se regula la cantidad de químico mediante una bomba dosificadora según el nivel de floculante fijado en su consigna, esto también se hace mediante un PID.

En la etapa de decantación secundaria se evita que se supere el nivel de floculante fijado en su consigna, para esto se abre una válvula todo/nada cuando sea necesario. La regulación que se aplica es un todo/nada.

En la etapa de cloración se suministra cloro por medio de una bomba dosificadora según su consigna. Este control lo hace mediante un PID.

2.2.1. Equipos

Los equipos que se utilizan en este proyecto son: motores, cilindros hidráulicos, válvulas todo/nada, motores sumergibles, válvulas reguladoras, bombas dosificadoras, compresores centrífugos, transmisor indicador de nivel, transmisor indicador de flujo, y detectores de presencia.

En la etapa elevadora los equipos son: el transmisor indicador de nivel (LIT_02), motores para la etapa de elevación (ME_01, ME_02, ME_03, ME_04, ME_05 y ME_06).

En la etapa de desbaste los equipos son: el transmisor indicador de nivel (LIT_03), detectores (DG_01, DG_02, DG_03, DG_04, DF_01, DF_02, DF_03 Y DF_04), motores (M_C_01 y M_C_02) y cilindros hidráulicos (AL_G_01, AL_G_02, AL_G_03, AL_G_04, AL_F_01, AL_F_02, AL_F_03 y AL_F_04).

En la etapa de desarenado los equipos son: transmisores de indicador de nivel de arena (LIT_04 y LIT_05), motores elevadores de arena (ME_DESAR_01 y ME_DESAR_02), motores que rotan las rasquetas (M_DES_01 y M_DES_02), cilindros hidráulicos (AL_DESAREN_01 y AL_DESAREN_02) y válvulas todo/nada (V_05 y V_06).

En la etapa de decantado primario los equipos son: los transmisores de indicador de nivel de floculo (LIT_06 y LIT_07), los transmisores de indicador de flujo (FIT_05 y FIT_06), los motores sumergibles (SM_01 y SM_02), las válvulas reguladoras (FCV_03 y FCV_04), las bombas dosificadoras (DPM_02 y DPM_03), los motores mezcladores (M_M_01 y M_M_02), los motores con paletas que trasladan el floculo (M_ME_01 y M_ME_02), los motores de rotación de las rasquetas (M_DP_01 y M_DP_01) y las válvulas todo/nada (V_03 y V_04).

En la etapa de decantación secundaria los equipos son: el transmisor indicador de nivel de floculo (LIT_01), transmisor indicador de flujo (FIT_03), motor de rotación de la rasqueta (SCR_01) y una válvula todo/nada (V_02).

Y en la etapa de cloración de agua los equipos son: el transmisor indicador de flujo (FIT_04), el transmisor indicador de cloro (CLIT_01) y la bomba dosificadora (DPM_01).

2.2.2. Fases del proceso

Las fases o etapas generales de todo el proceso de tratamiento de aguas residuales son 7, las cuales ya fueron mencionadas anteriormente. Y solo en las etapas de decantación primaria y tratamiento biológico tienen sus propias fases para su regulación. La etapa de tratamiento biológico no se menciona porque es parte del PBL.

En la etapa de decantación primaria empieza cuando está habilitado en modo automático que da paso a la fase de iniciación (INITIATION). Después cuando se da al botón *Start*, da a la siguiente fase que es el bombeo de aceite en el motor centrífugo (PUMPING). cuando se da la señal de que esta listo la presión de aceite, se habilita la fase de enfriamiento (COOLING). Después cuando se da la señal de listo el enfriamiento, se habilita la fase de listo (READY), en el que se da paso al flujo de agua al decantado primario. Y por último cuando el flujo de agua

entrante está listo, habilita la fase de regulando (REGULATING), donde se empieza a regular el valor de floculo en el decantado primario.

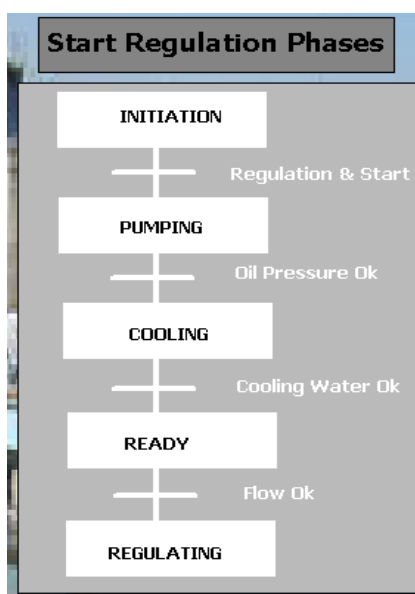


Figura 2.7. Fases de la etapa de decantación primaria. (Fuente [7] Propia)

2.2.3. Lazos de control

Solo en tres etapas del tratamiento de aguas residuales existen lazos de control que se regulan mediante el PID, el resto de las etapas, se regula mediante el control todo/nada. Las etapas con la regulación por medio del PID son: la etapa de decantado primario, la etapa de tratamiento biológico y la etapa de cloración de agua. La etapa de tratamiento biológico no se menciona porque es parte del PBL.

En la etapa de decantado primario se encuentra el lazo de control simple que regula el flujo entrante de agua a esta etapa.

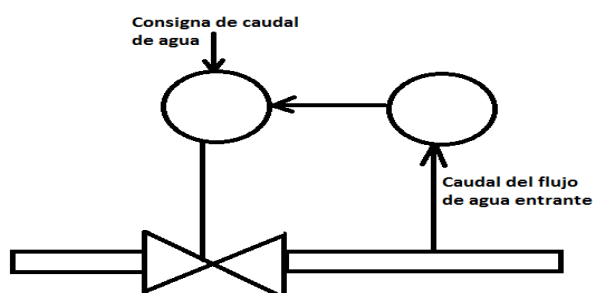


Figura 2.8. Lazo de control del flujo entrante de agua. (Fuente [8] Propia)

Y dos lazos de control en cascada que regula el nivel de floculo en el tanque.

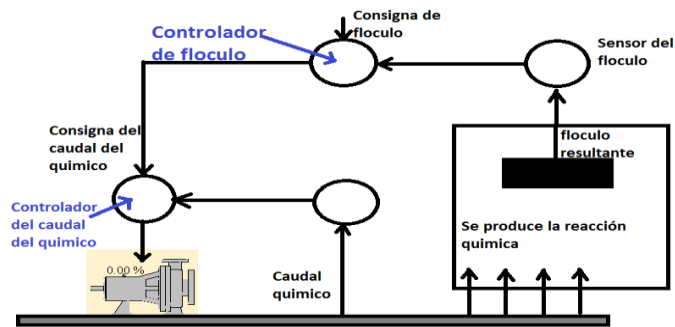


Figura 2.9. Dos lazos de control en cascada que regula el nivel de floculo.
(Fuente [9] Propia)

En la etapa de cloración de agua contiene solo el lazo de control simple que regula la concentración de cloro.

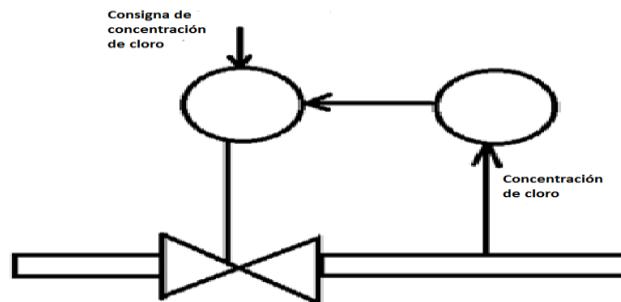


Figura 2.10. Lazo de control que regula la concentración de cloro. (Fuente [10] Propia)

2.3. Requerimientos funcionales

Los cuales son:

RQF01 Cada actuador o sistema se puede encontrar en estado de paro, marcha, automático o alarma.

RQF02 El rango de la consigna del caudal de agua es: [10.0m³/s, 30.0m³/s].

RQF03 El rango de la consigna del nivel de agua antes de la etapa de elevación es: [5.0m, 15m].

RQF04 El rango de la consigna del nivel de agua antes de la etapa de desbaste es: [5m, 15m].

RQF05 El rango de la consigna del nivel de arena en la etapa de desarenado es: [1m, 5m].

RQF06 El rango de la consigna del nivel de floculante en las etapas de decantación es: [1m, 5m]

RQF07 El rango de la consigna de la concentración de oxígeno es: [0.3ppm O₂, 1.5ppm O₂].

RQF08 El rango de la consigna de la concentración de cloro es: [0.3ppm, 1.5ppm].

RQF09 Los motores en la etapa de elevación funcionan de forma conjunta y estas se regulan según la consigna fijada.

RQF10 Los cilindros hidráulicos en la etapa de desbaste funcionan de forma conjunta y estas se regulan según la consigna fijada.

RQF11 Los tornillos de Arquímedes junto a la válvula todo/nada en la etapa de desarenado funcionan de forma conjunta y estas se regulan según la consigna fijada.

RQF12 La bomba dosificadora de reactivos químicos, cuando existe un flujo de agua regulada en la etapa de decantación primaria, se regula según la consigna fijada.

RQF13 La válvula reguladora de caudal de agua, se regula según la consigna fijada.

RQF14 La válvula todo/nada en la etapa de decantación secundaria se regula según la consigna de floculante fijada.

RQF15 La bomba dosificadora de cloro en la etapa de cloración de agua, se regula según la consigna fijada.

RQF16 En la etapa de desbaste cuando está en marcha la regulación, los motores de la cinta transportadora deben de estar en marcha constantemente.

RQF17 En la etapa de desarenado cuando está en marcha regulación, los motores de la rasqueta y los cilindros hidráulicos deben de estar en marcha constantemente.

RQF18 En la etapa de decantación primaria cuando está en marcha la regulación, el motor de la batidora, el motor de paletas de traslación, el motor de la rasqueta y la válvula todo/nada tienen que estar en marcha constantemente.

RQF19 En la etapa de decantación secundaria cuando está en marcha la regulación, el motor de la rasqueta tiene que estar en marcha constantemente.

RQF20 Si se da la orden de abertura o cierre en una válvula todo/nada en modo manual y no se cumple en 5 s se activa el estado de alarma.

RQF21 Si se da la orden de abertura o cierre en una válvula reguladora en modo manual y no se cumple en 5 s se activa el estado de alarma.

RQF22 Si se da la orden de empezar o parar en un motor en modo manual y no se cumple en 5 s se activará el estado de alarma.

RQF23 Si se da la orden de estirar o comprimir en un cilindro hidráulico en modo manual y no se cumple en 1,5 s se activa el estado de alarma.

RQF24 Si se da la orden de abertura o cierre de una bomba dosificadora y no se cumple en 5 s se activa el estado de alarma.

RQF25 La secuencia de activación en un compresor centrífugo y un motor sumergible es primero, empezar aceite; segundo, empezar enfriamiento y por último empezar en marcha. Si no se da esta secuencia se activa el estado de alarma.

RQF26 En el sistema de decantación primaria se le puede ingresar un valor de arranque y un valor de tiempo, en caso de pasar el tiempo y la regulación no da el valor de arranque, se activa el estado de alarma.

RQF27 Si un elemento o sistema se encuentra en alarma no se puede ordenar el cambio de estado hasta que se resetee el estado de alarma.

RQF28 Las alarmas quedan enclavadas hasta que no se ordena el reseteo.

2.4. Requerimientos de diseño

Los cuales son:

RQD01 La aplicación dispone de dos tipos de pantallas que son el de tipo Replace y de tipo Popup. En la de tipo Replace están las ventanas de las distintas etapas del proceso y la de acceso de usuario. En la de tipo Popup están las ventanas para los comandos, los sistemas, datos históricos, descripciones, alarmas y comunicaciones.

RQD02 Desde el SCADA es posible la selección del modo de comando Remoto-Manual o Automático de cada elemento.

RQD03 Animaciones en las distintas etapas del proceso.

RQD04 Todos los elementos que intervienen en el proceso se representan gráficamente en las distintas etapas del proceso.

RQD05 Se puede acceder a cualquier ventana en cualquier momento en menos de dos saltos de ventana.

RQD06 Al iniciar el Runtime momas se muestra la pantalla principal.

RQD07 El tamaño y la fuente de los textos son entendibles.

RQD08 Los Scripts usados han de estar correctamente comentados a fin de facilitar la comprensión.

RQD09 En la ventana de alarmas aparece tanto las alarmas activas como las atendidas.

RQD10 Todos los estados de los elementos están representados en el SCADA.

RQD11 Es posible mediante botones a tendencias históricas, alarmas, descripciones de un proceso, comunicaciones, comandos, comandos del sistema.

RQD12 Es posible acceder mediante un botón a una ventana donde se identifique al usuario.

RQD13 Hay como mínimo 2 niveles de usuario: 1 Administrador con capacidad de comando y 1 Operador con capacidad de visualización.

RQD14 Todas las pantallas disponen de un marco superior con la fecha y hora.

RQD15 Todas las pantallas disponen de un marco inferior con botones para dirigirse a diferentes etapas.

RQD16 Todas las pantallas disponen de un estado de las alarmas (sumario de alarmas).

RQD17 Todas las pantallas disponen de un marco superior con el nombre de la etapa.

RQD18 El color verde representa la marcha del elemento y el gris el estado de paro.

RQD19 En la ventana de cada actuador y de sistema se muestra el estado de marcha, de servicio, de manual, automático y de alarmas.

RQD20 Las ventanas de los actuadores se abrirán al clicar sobre el mismo.

RQD21 Hay ventanas con tendencias históricas de los transmisores de las distintas etapas del proceso.

2.5. Metodología de desarrollo

La metodología de desarrollo en este trabajo fue de modelo en espiral, en el que consistió de 5 iteraciones, cada iteración mejor que la anterior y cada una de estas conformada de 4 fases, estas fases fueron: la fase de planificación, la fase de análisis de riesgo, la fase de implementación y la fase de evaluación.

Primera iteración:

- En la fase de planificación se acordó con el director del trabajo a que el trabajo consista en hacer una extensión del PBL de la asignatura de integración de sistemas automáticos. Esta extensión consiste en las etapas de elevación, desbaste, desarenado, decantado primario, decantado secundario y cloración de agua. Tras eso se empezó a leer información de cómo funciona cada etapa mediante un PDF que proporciono el director y por medio de la navegación en internet. después se prosiguió a entender las funcionalidades de algunas instrucciones que se utilizaron en la confección del código de simulación, los medios utilizados para entender estas instrucciones fueron: la navegación en internet y el código de simulación del PBL. El alcance que se marcó en esta fase fue de hacer el código de simulación y el diseño estético de las etapas.
- En la fase de análisis de riesgo solo se marcó como alcance lo mencionado en la anterior fase, no se pensó en hacer más alcances porque no se sabía cómo sería exactamente el comportamiento de estas etapas.
- En la fase de implementación, consistió en confeccionar el código de simulación en RSLogix y el diseño estético en Intouch de cada etapa según lo planteado en la fase anterior.
- En la fase de evaluación, se tuvo reunión con el director, en el que el esquema planteado en la fase de anterior fue totalmente cambiado.

Segunda iteración:

- En la fase de planificación, se tuvo como alcance hacer el código de simulación, el código de control en modo manual, el diseño estético de las etapas y la animación de la interfaz para en modo manual
- En la fase de análisis de riesgo, solo se marcó como alcance lo mencionado en la fase anterior y no se pensó en hacer el código de control en modo automático porque a posibles cambios seria mucho tiempo perdido ya que el código de control en modo automático depende del modo manual.
- En la fase de implementación, se hizo el código de simulación y el código de control en modo manual en el entorno RSLogix. después el diseño estético de las etapas, para ello se utilizó tanto el Microsoft Visio como el entorno Intouch y por último la animación de la interfaz en modo manual.
- En la fase de evaluación, en el cual se tuvo reunión con el director, se planteó cambiar el aspecto estético, que consistió en poner en cada ventana solo una etapa y no aglomerar muchas de estas en una sola ventana.

Tercera iteración:

- En la fase de planificación, se tuvo como alcance además de corregir el aspecto estético mencionado en la anterior iteración, tener confeccionado el código en modo automático y la animación en modo automático.
- En la fase de análisis de riesgo se procuró pensar en hacer primero la animación en modo automático y el código de control en modo automático antes de ser documentados, para asegurar no perder tiempo en volver hacer la documentación.
- En la fase de implementación se confecciono la animación en modo automático y el código de control en modo automático. Al ejecutar estas tareas se observó que el código de simulación debió de ser cambiado por lo tanto el código de control en modo manual también debió ser cambiado, por lo que se pasó a corregirlos.
- En la fase de evaluación, se tuvo reunión con el director y se dio el visto bueno al trabajo, por lo que solo hizo falta la documentación

Cuarta iteración:

- En la fase de planificación, se tuvo como alcance hacer el documento de la memoria y la presentación en PowerPoint.
- En la fase de análisis de riesgo se procuró pensar en hacer primero el documento de la memoria y después la presentación en PowerPoint, en ese orden porque el PowerPoint es un resumen de la memoria y en caso de estar mal la memoria no se vuelva hacer el PowerPoint.
- En la fase de implementación, se confecciono la memoria y al momento de hacer la explicación sobre los códigos de simulación, se encontró que la etapa de desbaste no era correcta, por lo que se realizó otra iteración.
- En la fase de evaluación, se tuvo comunicación con el director, en el que se le informo que no se alcanzaba a entregar el trabajo al tiempo de entrega, debido a lo comentado en la fase anterior, por lo que se aplazó la entrega.

Quinta iteración:

- En la fase de planificación, se tuvo como alcance corregir el código de simulación de la etapa de desbaste y poder terminar la memoria y la presentación.
- En la fase de análisis de riesgo, se pensó de terminar el trabajo en su totalidad lo más antes posible para que el director pueda revisarlo e indicar que cosas corregir.
- En la fase de implementación, se corrigió el código de simulación, después se ejecutó el trabajo y se dio por bueno, luego se empezó a hacer la memoria y la presentación.
- En la fase de evaluación, el director indico las cosas a corregir, pero solo en la documentación, por lo que finalmente se dio por bueno el trabajo.

2.6. Planificación de las tareas

Se consideraron en total 21 tareas a lo largo de las 5 iteraciones que se hizo en este trabajo. Todas estas tareas se pueden dividir para dos tipos de perfil de ingeniero, tal como se ve en la figura 2.11.

TAREAS PARA PERFIL DE INGENIERO ANALISTA	HORAS
- Análisis y descripción del comportamiento de las etapas en la primera iteración.	4
- Análisis y descripción del comportamiento de las etapas en la segunda iteración.	5
- Corrección del aspecto estético de la interfaz.	1
- Corrección del comportamiento de la etapa de desbaste.	1
- Redactar parte de la documentación y la presentación.	20
TAREAS PARA PERFIL DE INGENIERO PROGRAMADOR	HORAS
- Confección del código de simulación en la primera iteración.	10
- Diseño estético en la primera iteración.	10
- Confección del código de simulación en la segunda iteración.	20
- Confección del código de control en modo manual en la segunda iteración.	20
- Diseño estético en la segunda iteración.	20
- Animación de la interfaz en la segunda iteración.	10
- Confección del código de control en modo automático en la tercera iteración.	10
- Animación de la interfaz en la tercera iteración.	5
- Corrección del código de simulación en la tercera iteración.	4
- Corrección del código de control manual en la tercera iteración.	4
- Redactar parte de la documentación en la cuarta iteración.	10
- Corrección del código de simulación en la quinta iteración	10
- Redactar parte de la documentación en la quinta iteración.	10
- Redactar parte de la presentación en la quinta iteración.	1

Figura 2.11. Tareas realizadas. (Fuente [11] Propia)

2.7. Recursos

Haber cursado la asignatura de Integración de sistemas automáticos y la asignatura de Sistemas de información y comunicación industrial fueron recursos importantes para hacer este trabajo.

Con la asignatura de Integración de sistemas automáticos se obtuvo conocimientos para diseñar el código de control en modo automático y manual en el entorno RSLogix5000 y dar conectividad con la interfaz Intouch, También la manera de hacerlo. además, fue útil tener el código de simulación del sistema de aireación (o tratamiento biológico) y la decantación secundaria, para entender el código de simulación.

Con la asignatura de Sistemas de Información y Comunicación Industrial se obtuvo conocimientos para diseñar y animar el entorno Intouch.

Tener en casa los programas de RSLogix5000 e Intouch en una máquina virtual proporcionado de los ordenadores de la universidad con la última licencia para operar.

Como el entorno Intouch no tiene mucha variedad de herramientas para confeccionar gráficos, se recurrió al programa Microsoft Visio Para hacer los gráficos en la interfaz.

Tener un PDF proporcionado por el director, donde explica las etapas del tratamiento de aguas residuales, que ayudo a tener ideas de hacer los códigos de simulación.

La navegación a internet para buscar soluciones cuando los programas no respondían o buscar más información sobre las etapas. Todas estas páginas webs buscadas se menciona en la bibliografía.

Y, por último, tener un PDF de cómo es la estructura de una memoria para este tipo de trabajo.

CAPITULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

3.1. Arquitectura del sistema de control

3.1.1. Hardware del sistema

El proceso a automatizar es de forma virtual, con objetivo para ser material didáctico, por lo que el hardware utilizado es el ordenador donde ocurre estas simulaciones, que consiste en un ordenador portátil de 4GB de memoria RAM con un sistema operativo Windows 8.1 Pro de 64 bits. Dentro de este sistema operativo se encuentra una máquina virtual con un sistema operativo de 32 bits y el conjunto de softwares requeridos para simular esta automatización.

3.1.2. Software del sistema

Los softwares que se utilizan para la simulación y control del proceso en este trabajo son:

El RSLogix 5000 Enterprise, donde fue escrito el código de simulación y de control.

El RSLogix Emulate 5000, que es el programa donde se simula un PLC y en el que se puede activar entradas y observar las salidas del PLC virtual.

El RSLinx Classic, que es un programa donde se encuentra el servidor DDE necesario para interconectar los *tag's* del RSLogix 5000 Enterprise y el Intouch.

Y por último el Intouch de Wonderware que es un programa que se utiliza como interfaz para controlar y supervisar el proceso.

3.1.3. Vista global de las comunicaciones

La vista global de estas comunicaciones es de forma virtual, estas consisten de cinco tipos de redes que son: el tipo Sync, ModBus, Profibus DP, ControlNet y Ethernet. En la red tipo Sync sirve como comunicación entre PLC's, en el tipo ModBus se conecta las fuentes de alimentación, en el tipo Profibus DP se conecta los sensores y actuadores, en el tipo ControlNet se conecta las HMI's y en el tipo Ethernet se conecta los centros de control.

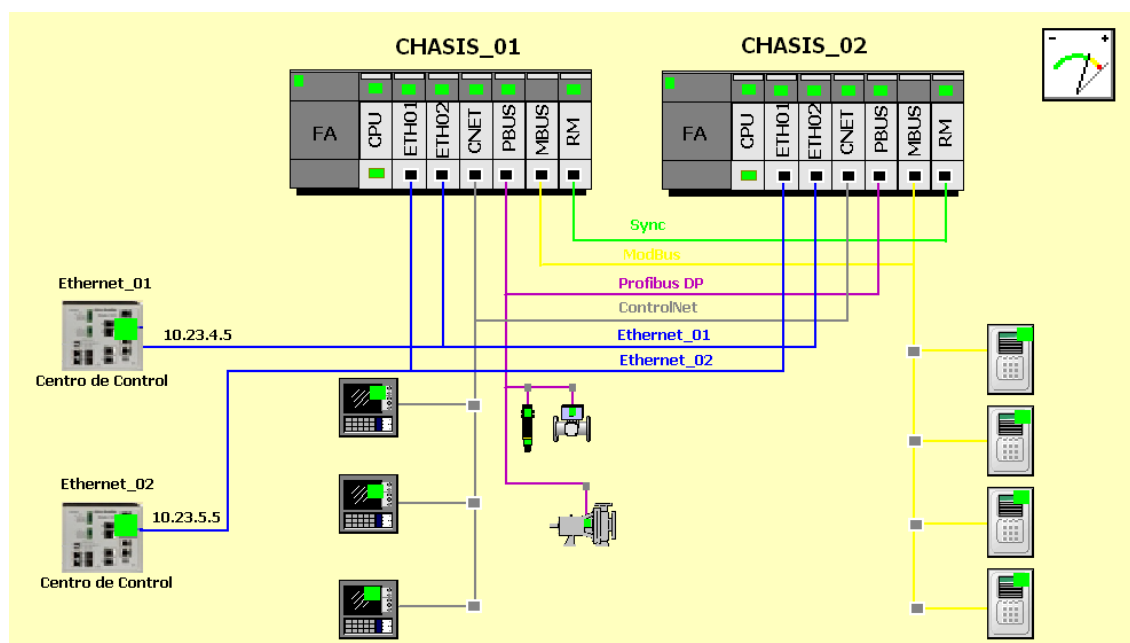


Figura 3.1. Vista global de las comunicaciones. (Fuente [12] Propia)

3.1.4. Comunicaciones SCADA-Controlador-Proceso

El código de control y el de simulación del proceso se escriben en el programa RSLogix 5000 Enterprise, la ejecución de este junto al programa RSLogix Emulate 5000, permite que se simule la reacción y control del proceso. Para poder este proceso visualizarlo por el interfaz Intouch de Wonderware, se ejecuta también RSLinx Classic. El esquema de esta comunicación se puede observar en la Figura 3.2.

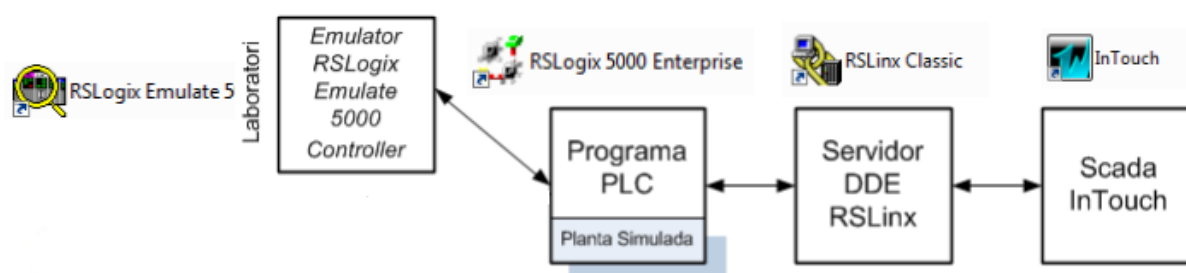


Figura 3.2. Comunicación SCADA-Controlador-Proceso. (Fuente [13] ISA)

3.2. Simulación del proceso

3.2.1. Bloques del sistema

Los bloques del sistema de simulación, tal como se observa en la Figura 3.3, lo conforman las etapas y elementos. En las etapas se encuentran: el de elevación, desbaste, desarenado, decantado primario, tratamiento biológico, decantado secundario y cloración de agua. En cuanto a los elementos lo conforman: el actuador lineal, motor para elevación, motor sumergible, válvula todo/nada, bomba dosificadora, válvula reguladora y motor simple.

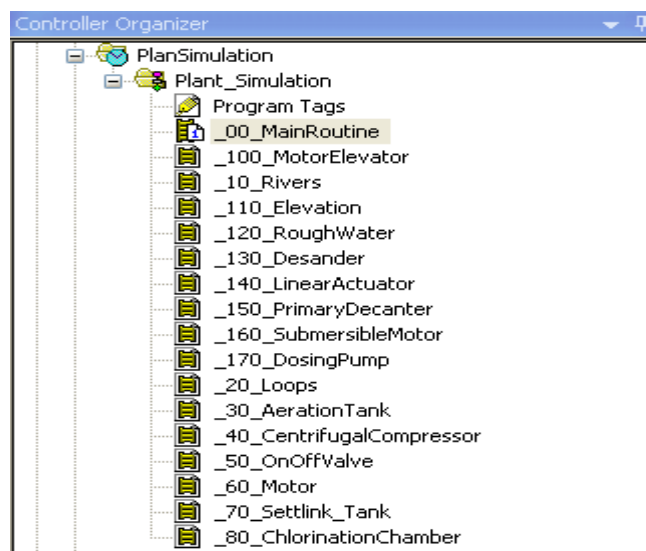


Figura 3.3. Vista de todas las rutinas dentro de la carpeta PlanSimulation.
(Fuente [14] Propia)

3.2.2. Estructura de simulación

la estructura de la simulación se divide en código para el comportamiento de cada uno de los elementos que conforman este proceso y el comportamiento de las etapas que están conformado por ciertos elementos.

Para hacer este código de simulación se ha utilizado dos carpetas que son el PlanSimulation y la carpeta Add-On Instructions.

Como el proceso que se simula contiene muchos actuadores o elementos del mismo tipo, se crearon los siguientes Add-on mostrados en la Figura 3.4. para no repetir el mismo tipo de código y cuando haya cambios, modificar una sola rutina.

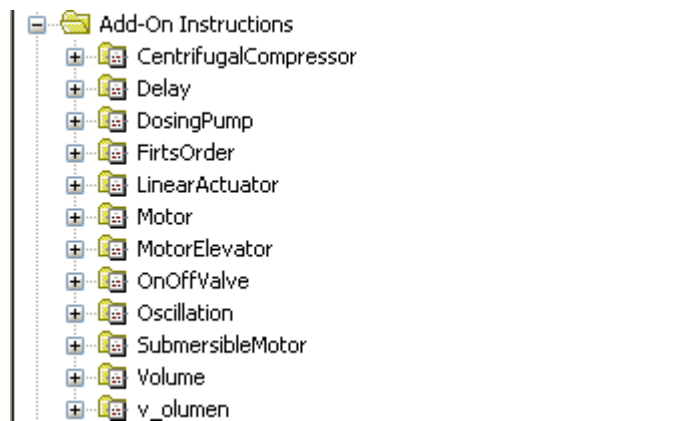


Figura 3.4. Vista de todos los Add-On creados. (Fuente [15] Propia)

Después esta la carpeta PlanSimulation que contiene el programa Plant_Simulation, donde se escribió el código de simulación de los elementos y de las etapas, como se ve en la Figura 3.3.

3.2.3. Diseño del código embebido

Cuando se entendió cómo funcionan los códigos de simulación del PBL, se pasó a la confección de los Add-On que son como plantillas que se usan constantemente en los códigos de simulación.

los Add-On's del PBL son los siguientes: Delay, FirtsOrder, Motor, OnOffValve, Oscillation y Volume. De los cuales el Volume fue modificado.

En cuanto los Add-On's que se crearon son: DosingPump, LinearActuator, MotorElevator y SubmersibleMotor. También se creó el Add-On V_volumen que sirvió para entender más el uso de estos, pero como no se pudo eliminar se mantiene en la lista de Add-On.

Las acciones de cada uno de estos Add-On's son las siguientes:

Add-On DosingPump

Consiste que cuando se fija un porcentaje de abertura (AO23) este tarda 1.2 segundos en ejecutar la abertura (AI23) tal como se puede ver la Figura 3.5.

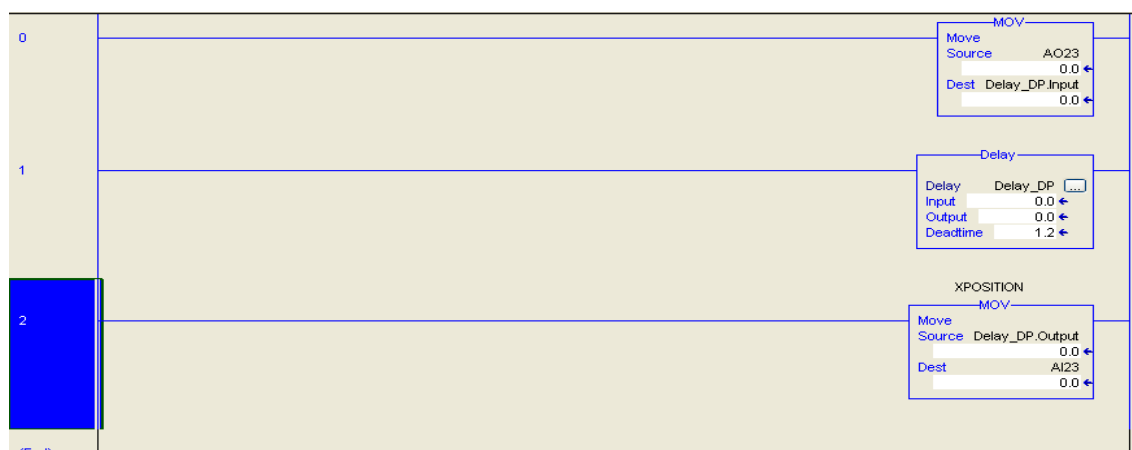


Figura 3.5. Add-On DosingPump. (Fuente [16] Propia)

Add-on LinearActuator

La primera acción que hace el actuador lineal, siempre que el actuador lineal no es comandado, es llegar al estado T_AL_3.DN que se da pasado un tiempo de 1 milisegundo, que hace el efecto que por defecto el actuador lineal este comprimido (DI18), ya que no se encontró otra manera de fijarlo en comprimido. Una vez que el actuador lineal este comprimido (DI18), cuando se da a extender (DO20), se empieza a temporizar el T_AL_1 que es un segundo, mientras está transcurriendo el tiempo (T_AL_1.TT), se da la señal que se está estirando (DI20) y cuando termina el temporizador (T_AL_1.DN), se da la señal de estirado (DI17). Una vez extendido y se da comprimir (DO21), se empieza a temporizar T_AL_2 que también es un segundo, mientras transcurre el tiempo se habilita T_AL_2.TT que da la señal que el actuador está comprimiendo (DI21) y cuando termina el temporizador (T_AL_2.DN), se da la señal de comprimido (DI18).

Cuando se encuentra en la acción de comprimiendo o estirando se habilita la señal para habilitar la carga de basura es retirada (DI19).

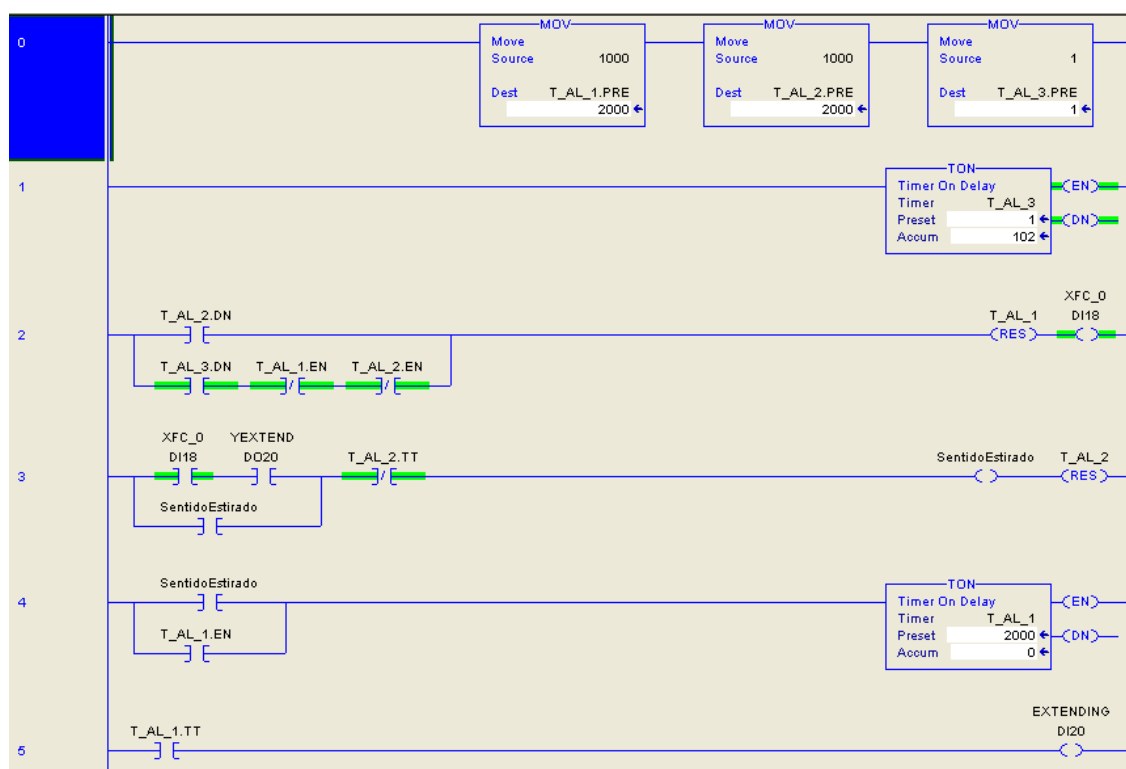


Figura 3.6. Add-On LinearActuator. (Fuente [17] Propia)

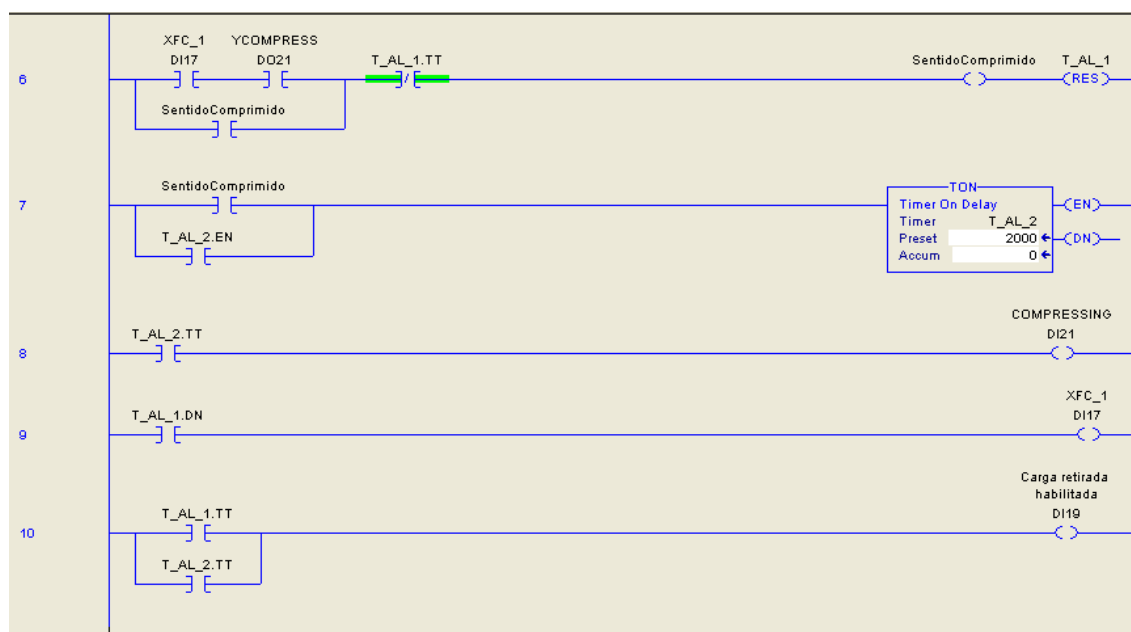


Figura 3.7. Add-On LinearActuator. (Fuente [18] Propia)

Add-on MotorElevator

Este código consiste que cuando se le envía la señal de empezar la marcha (DO11), se empieza a contar un temporizador (T_Start_M_E), cuando termina el conteo del temporizador (DI12), da el estado de ejecución, este a su vez habilita la señal de potencia (AI06) que tiene una oscilación de amplitud 10 y un rizado de 10.

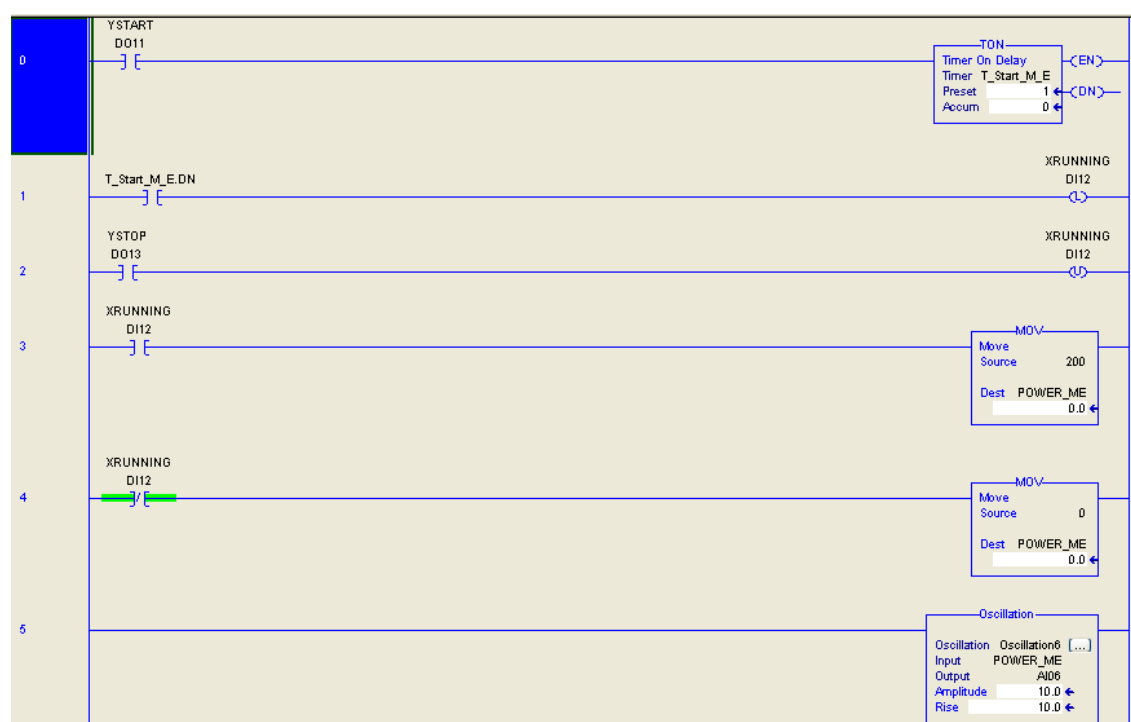


Figura 3.8. Add-On MotorElevator. (Fuente [19] Propia)

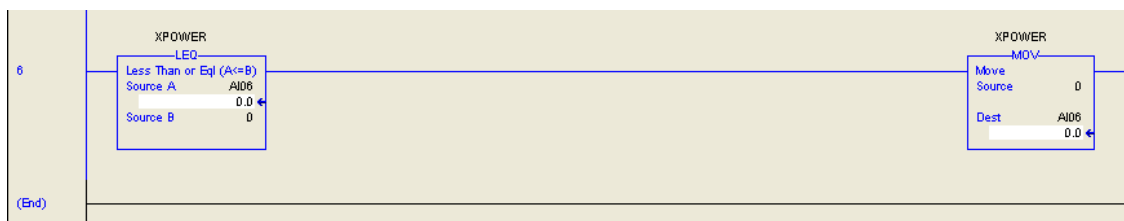


Figura 3.9. Add-On MotorElevator. (Fuente [20] Propia)

Add-on SubmersibleMotor

El Add-On del motor sumergible es idéntico al compresor centrífugo ya que ambos necesitan un sistema de refrigeración para que no se caliente y se tiene que respetar la secuencia de activaciones para que no se active la alarma.

Add-on Volume

Se tenía el Add-On del volumen del PBL, pero su comportamiento no fue suficiente para ser tratados en todas las etapas, por lo que se cambió, siguiendo la fórmula:

$$\text{Volumen} = \text{Volumen} + \text{CaudalEntrada} - \text{CaudalSalida}$$

Ecuación 3.1.

La Ecuación 3.1 fue codificada en diagrama de bloques tal como se muestra en la Figura 3.10. donde el Load_in es actualizado cada 1 milisegundo y el Stop_Start es fijado a uno.

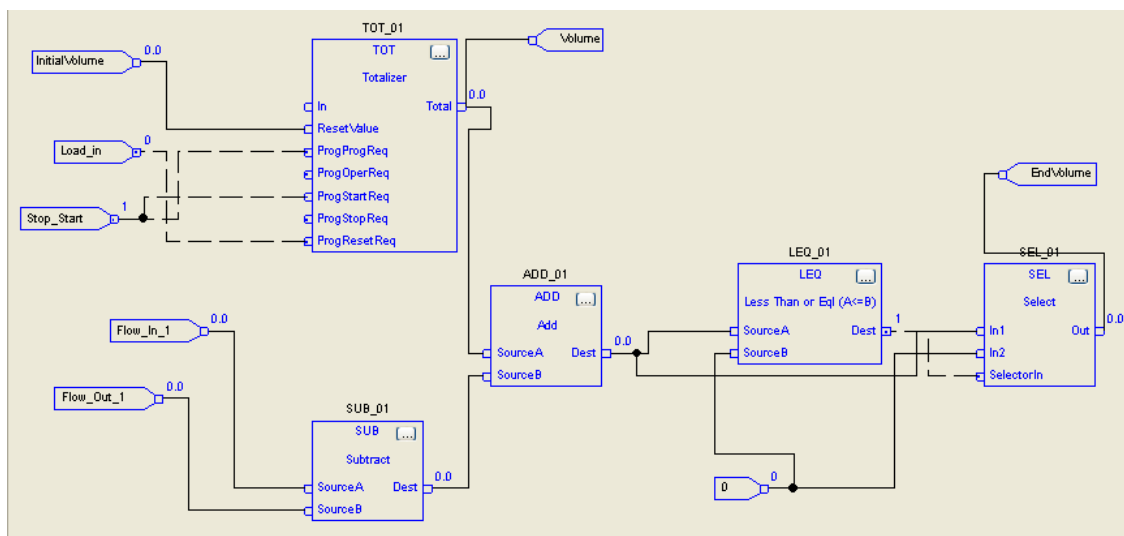


Figura 3.10. Add-On Volume. (Fuente [21] Propia)

Después de crear los Add-On's, se codifico estos en las rutinas de elementos que se encuentra en la carpeta Plant_Simulation. Los elementos son: los motores de tipo elevador, actuadores lineales, motores sumergibles, bombas dosificadoras, compresores centrífugos, válvulas todo/nada y motores simples tal como las siguientes figuras.

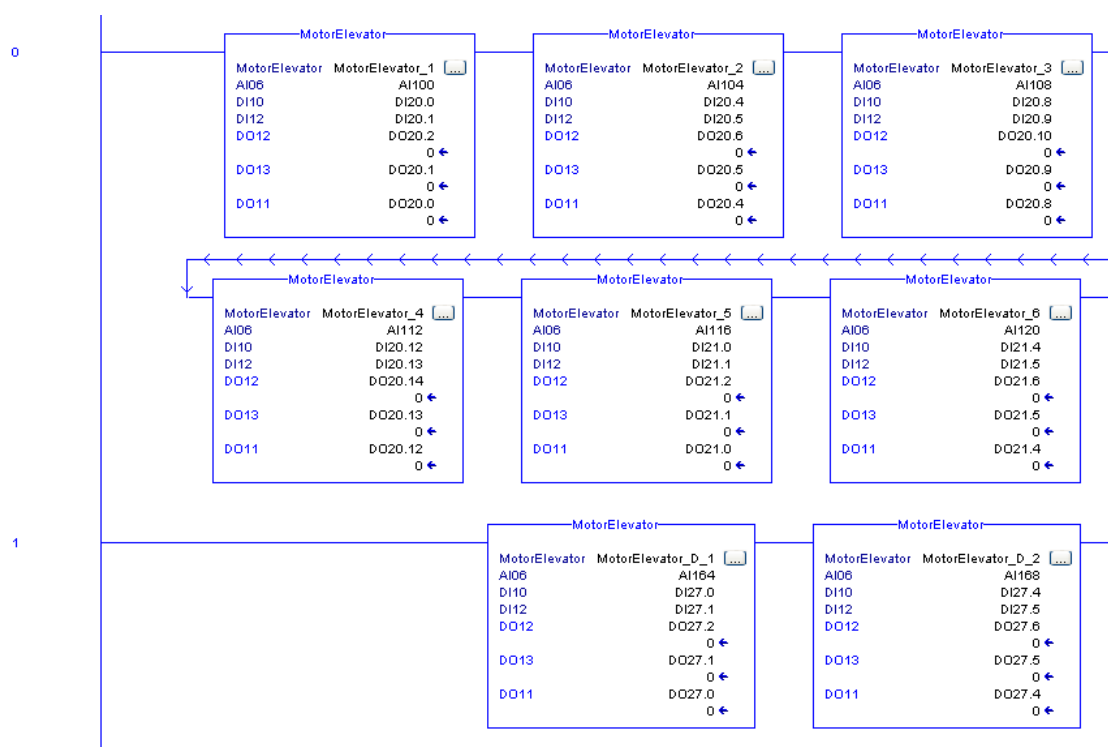


Figura 3.11. Rutina de motores de tipo elevador. (Fuente [22] Propia)

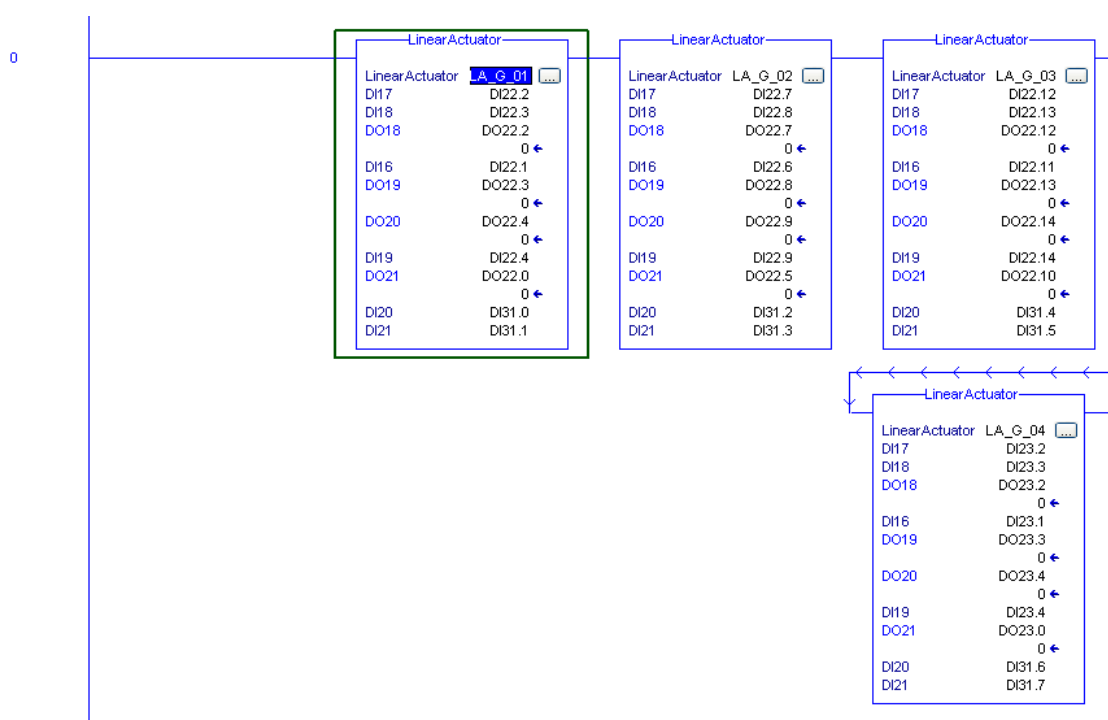


Figura 3.12. Rutina de actuadores lineales. (Fuente [23] Propia)

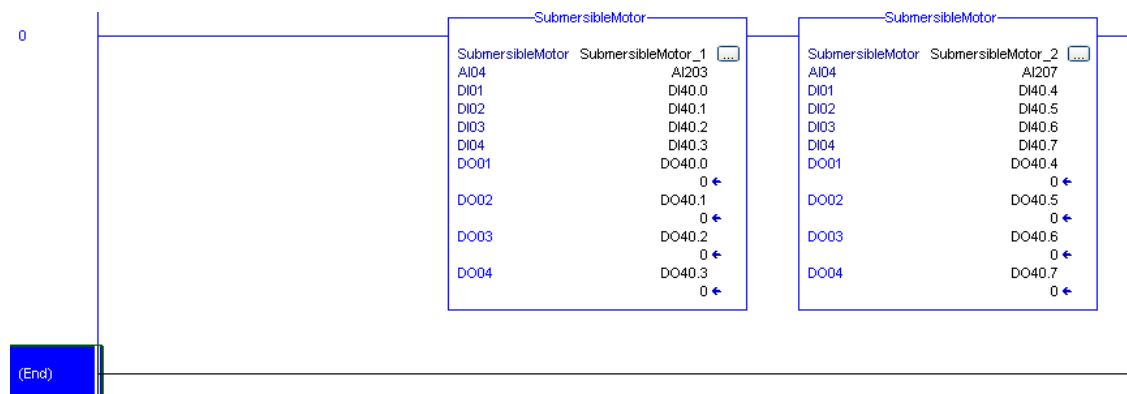


Figura 3.13. Rutina de motores sumergibles. (Fuente [24] Propia)

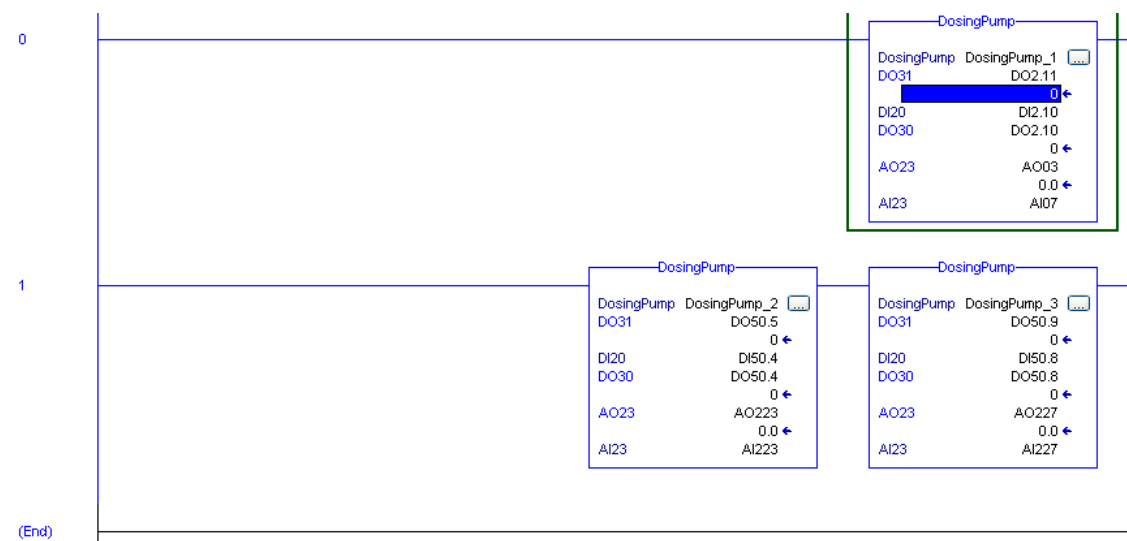


Figura 3.14. Rutina de bombas dosificadoras. (Fuente [25] Propia)

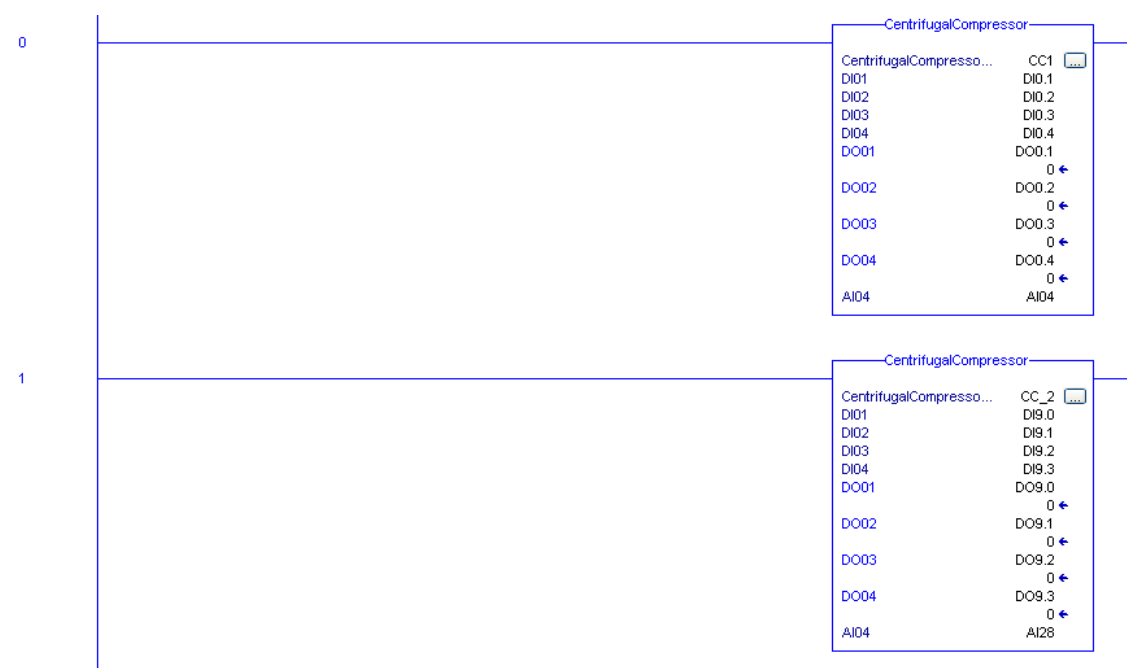
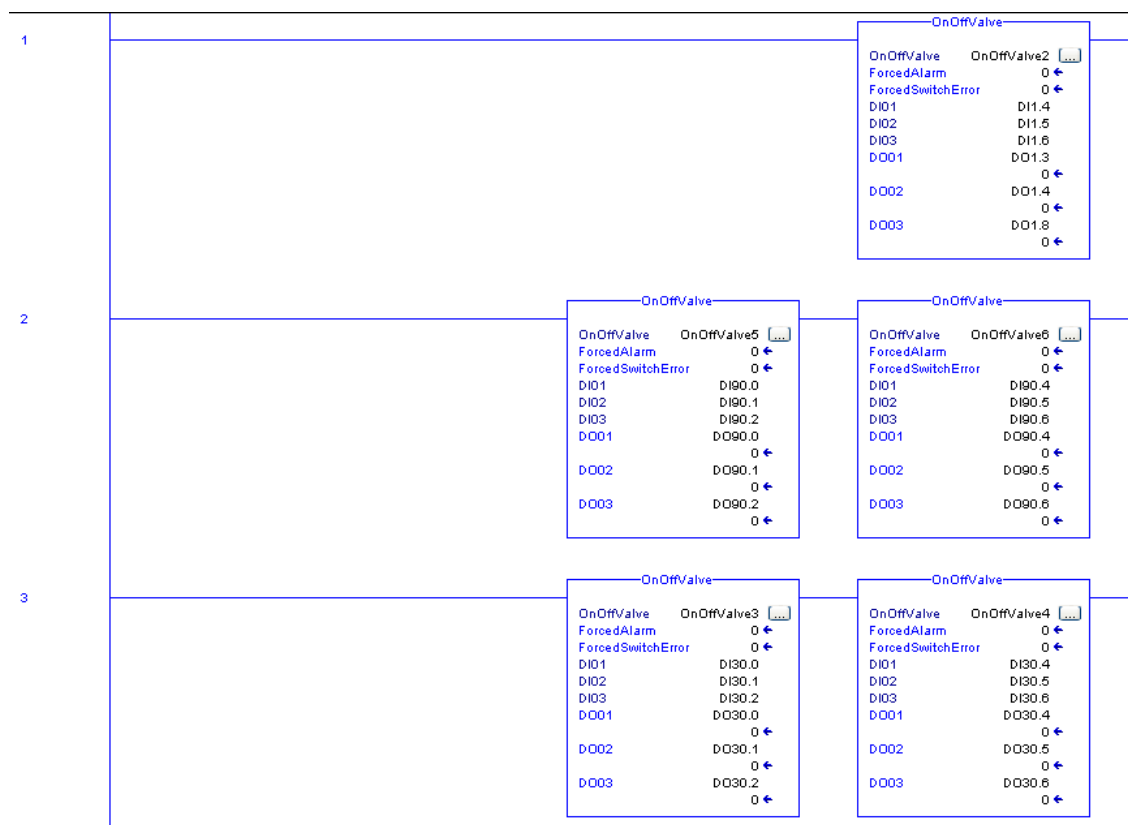
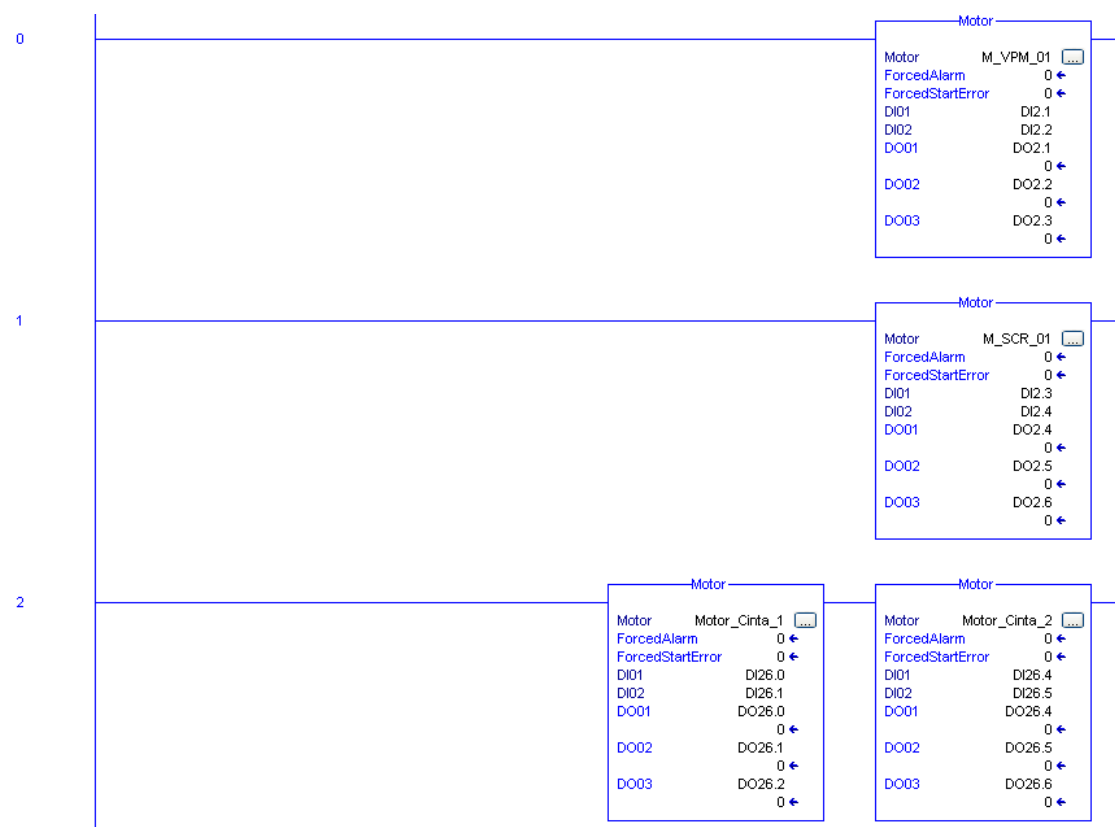


Figura 3.15. Rutina de compresores centrífugos. (Fuente [26] Propia)**Figura 3.16.** Rutina de válvulas todo/nada. (Fuente [27] Propia)**Figura 3.17.** Rutina de motores. (Fuente [28] Propia)

Para codificar las válvulas reguladoras no se usaron Add-On, el motivo es que por las diferentes válvulas reguladoras los flujos son de diferente velocidad de expansión y que algunos dependen de otros actuadores para su funcionamiento. Las válvulas reguladoras de la etapa de tratamiento biológico no se mencionan porque pertenecen al PBL, las válvulas reguladoras hechas en este trabajo son:

Válvula reguladora en el decantado primario

Consiste en que el porcentaje de abertura no se lee hasta que se encuentre en marcha su motor sumergible correspondiente, en caso que esté en marcha se le aplica un retardo de 1,2 segundos para luego entrar al Add-On del FirtsOrder que hace el comportamiento de una regulación en que poco a poco llega a un valor fijado según sus parámetros introducidos. Una vez salido del FirtsOrder entra al Add-On de Oscilación que le da el comportamiento oscilante. Se le agrega un par de instrucciones más para asegurar que los valores no salgan negativos debido a la oscilación.

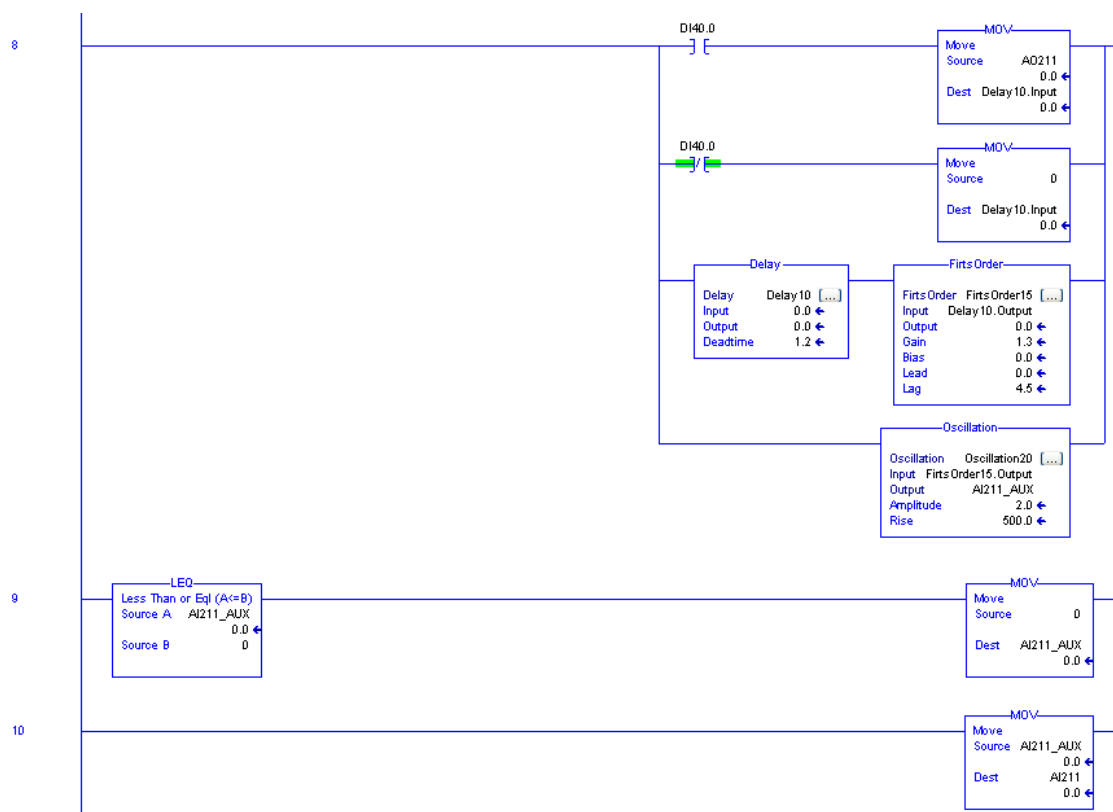


Figura 3.18. Código de la válvula reguladora de agua del decantado primario.
(Fuente [29] Propia)

Después de codificar todos los actuadores o elementos, se pasó hacer los sistemas, también consideradas etapas que son:

Etapas de los ríos (_10_Rivers)

En la etapa de los ríos consiste que cuando la señal de abertura se activa, se habilita el paso del río y cuando se da la señal de cerrar se deshabilita el paso del río. En total son tres ríos, cada uno tiene un valor constante de $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Etapas de Elevación (_110_Elevation)

Se considera un volumen de agua que se acumula según sus caudales de entrada y de salida. En el que el caudal de entrada depende de la suma de los caudales de tres ríos y el caudal de salida depende de los caudales de agua que los 6 tornillos de Arquímedes arrastran cuando están en marcha. El valor de caudal de cada uno de los ríos cuando transcurren es de $200 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal que arrastran cada uno de estos tornillos de Arquímedes tienen un valor de $101,695 \text{ m}^3/\text{s}$. El esquema del volumen acumulado y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas que se han escrito en el código, es tal como se muestra en la Figura 3.19.



Figura 3.19. Esquema del volumen, sus caudales de entrada y salida de la etapa de elevación. (Fuente [30] Propia)

Para el volumen acumulado de agua se codificó el Add-On Volume, en el que se tiene que ir actualizando la señal *Load_in* cada 1 milisegundo, como en la Figura 3.20.

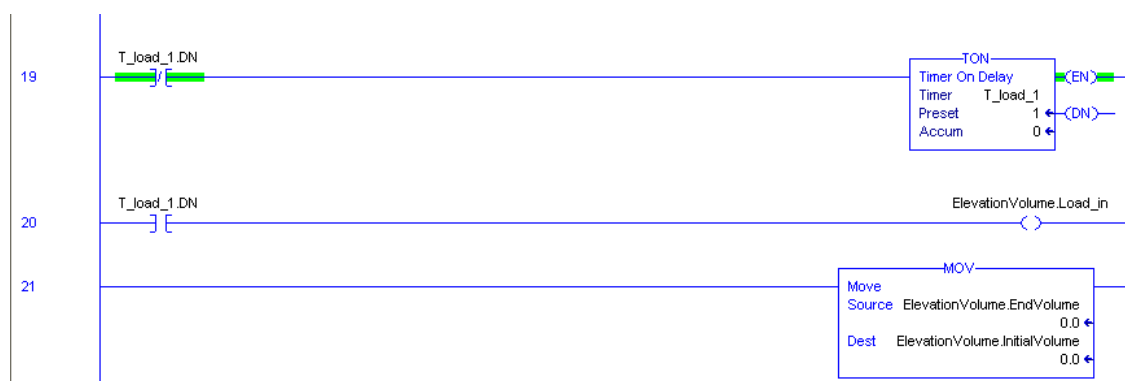


Figura 3.20. Código embebido de la etapa de elevación. (Fuente [31] Propia)

El volumen no puede irse al infinito por lo que se fija un valor de volumen 55000 m^3 tal como se muestra en la Figura 3.21.



Figura 3.21. Código embebido de la etapa de elevación. (Fuente [32] Propia)

Por ultimo al volumen se da una oscilación para que tenga un aspecto más real y después se divide entre la base del tanque que se considera del valor 1100 m² para dar la altura que es lo que va indicar el transmisor de nivel de altura AI08. También se le añade un valor por defecto de 1,5 metros. Todo esto se ve en la Figura 3.22.

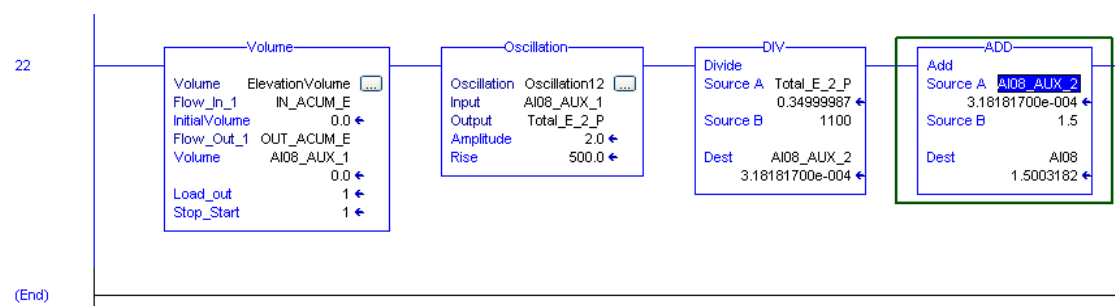


Figura 3.22. Código embebido de la etapa de elevación. (Fuente [33] Propia)

Etapas de Desbaste (_120_RoughWater)

En esta etapa se codifico 4 tipos de volúmenes con sus respectivos caudales de entrada y salida, sumando un total de 13 volúmenes. los tipos de volúmenes son los siguientes:

- volumen de agua antes del desbaste.

Solo se codifico un volumen, con un caudal de entrada del 90 % de la suma de caudales que arrastran los tornillos de Arquímedes. Como caudal de salida tiene un máximo de 600 m³/s, este puede variar dependiendo del taponamiento de las rejillas del desbaste grueso. El esquema del volumen acumulado y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.23.

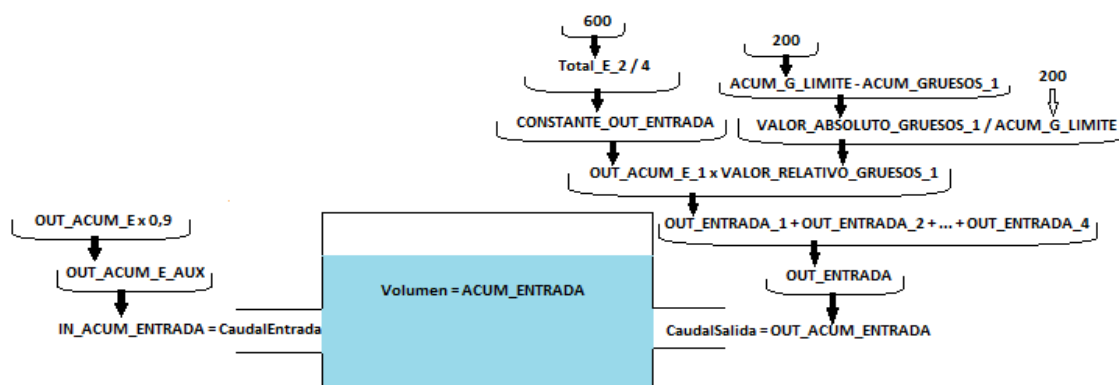


Figura 3.23. Esquema del volumen antes del desbaste y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [34] Propia)

Como el volumen no puede ir al infinito, se fija un volumen máximo de 55000 m³, pasado este valor, el caudal de entrada pasaría a valer cero. Tal como se muestra en la Figura 3.24.

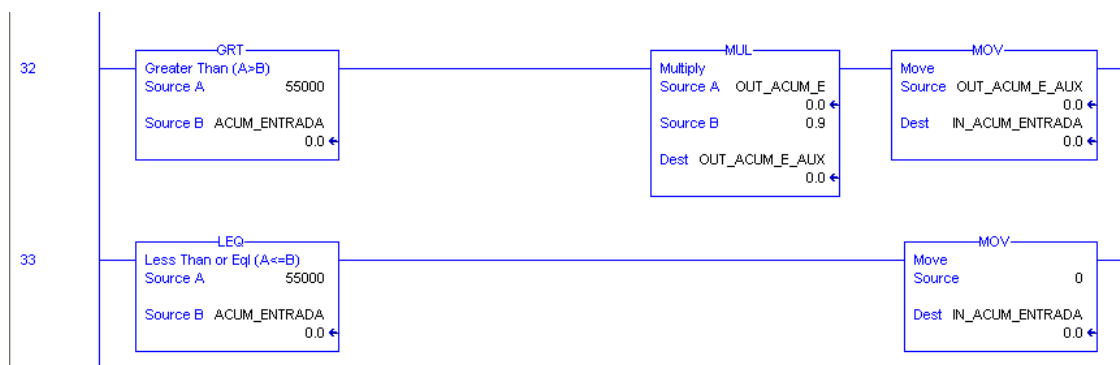


Figura 3.24. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [35] Propia)

Como el caudal de entrada del volumen de agua entre el desbaste grueso y fino depende del caudal de salida del volumen de agua antes del desbaste, se fija el valor de cero el caudal de salida del volumen de agua antes del desbaste, cuando su volumen acumulado sea cero, así no aparecerá un caudal de agua que no debe existir.

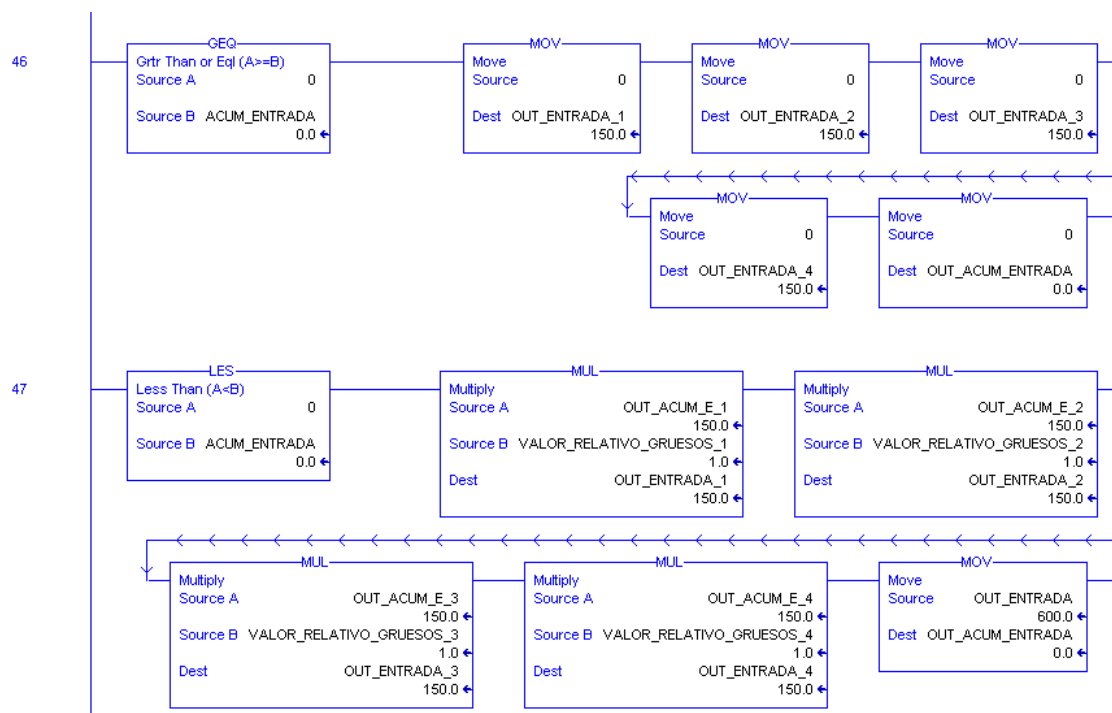


Figura 3.25. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [36] Propia)

Y por último se actualiza el volumen acumulado cada 1 milisegundo como la Figura 3.26.

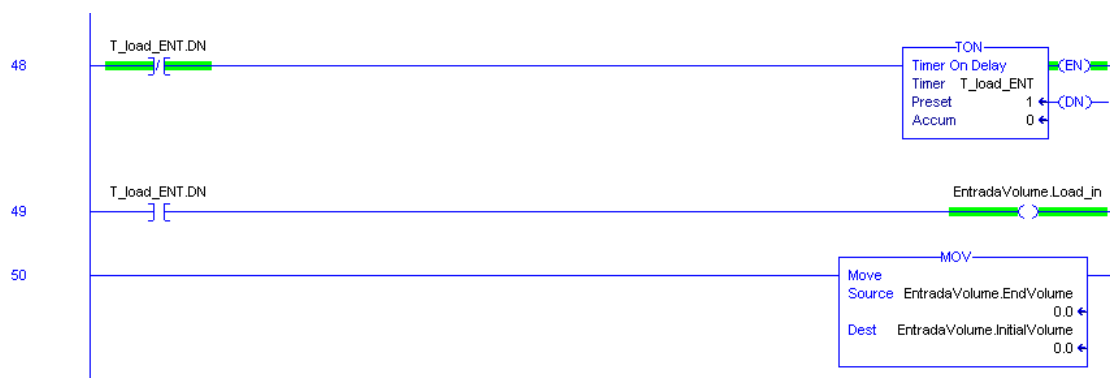


Figura 3.26. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [37] Propia)

- Volumen de Basura gruesa

Como la etapa de desbaste se divide en cuatro canales, entonces se codificaron cuatro volúmenes de basura gruesa que las rejillas acumula, en el que cada volumen de basura gruesa tiene un caudal de entrada del 10% y dividido entre cuatro de la suma de caudales que arrastran los tornillos de Arquímedes. Como el caudal de salida tiene un valor de $50 \text{ m}^3/\text{s}$, que se da cuando está en marcha el actuador lineal para recoger la basura. El esquema del volumen acumulado y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.27.

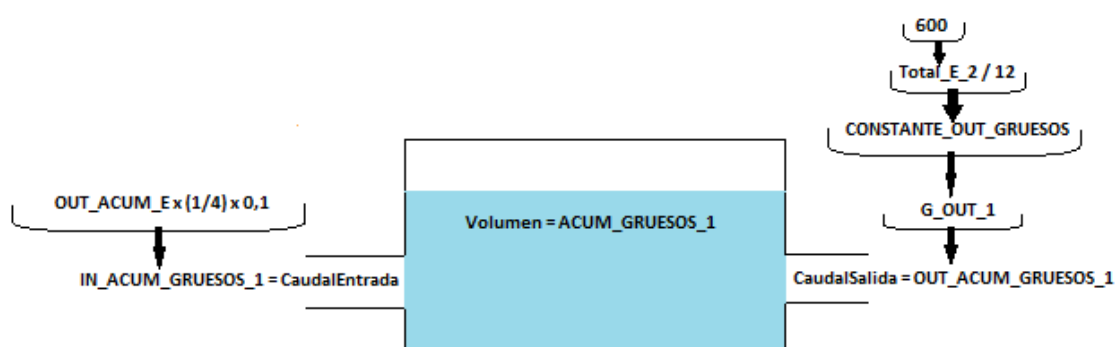


Figura 3.27. Esquema del volumen de basura gruesa y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [38] Propia)

Ya que el volumen acumulado no puede ir al infinito, se fija un volumen máximo de 200 m³, pasado este valor, el caudal de entrada pasaría a valer cero. Tal como se muestra en la Figura 3.28.

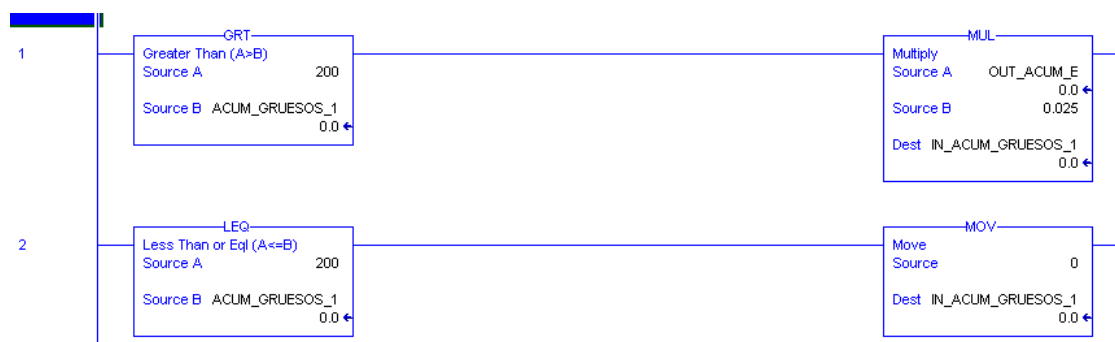


Figura 3.28. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [39] Propia)

Se actualiza el volumen acumulado de basura gruesa cada 1 milisegundo, tal como se muestra en la Figura 3.29.

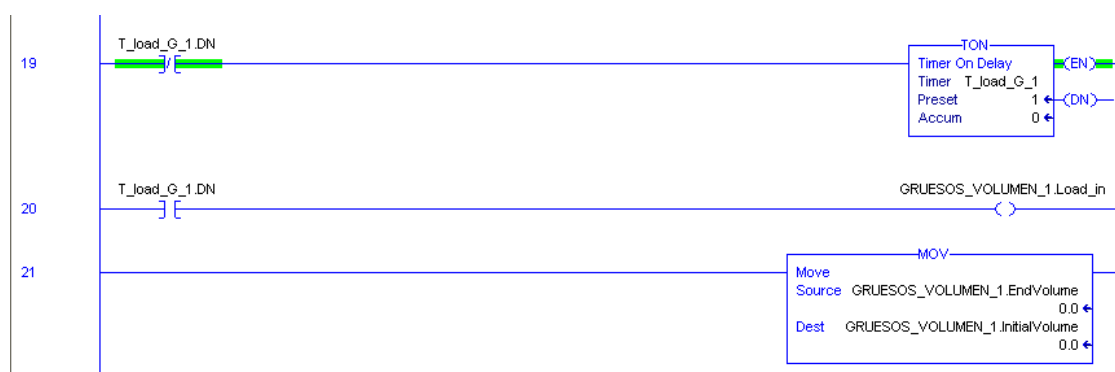


Figura 3.29. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [40] Propia)

- Volumen de agua antes del desbaste grueso y fino

Se codificaron cuatro volúmenes, porque hay cuatro canales en el que cada volumen de agua tiene como caudal de entrada el 90% y dividido entre 4 del caudal de salida del volumen de agua antes del desbaste. Con un caudal de salida de un máximo de $600 \text{ m}^3/\text{s}$, que depende del taponamiento de las rejillas del desbaste fino. El esquema del volumen acumulado y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.30.

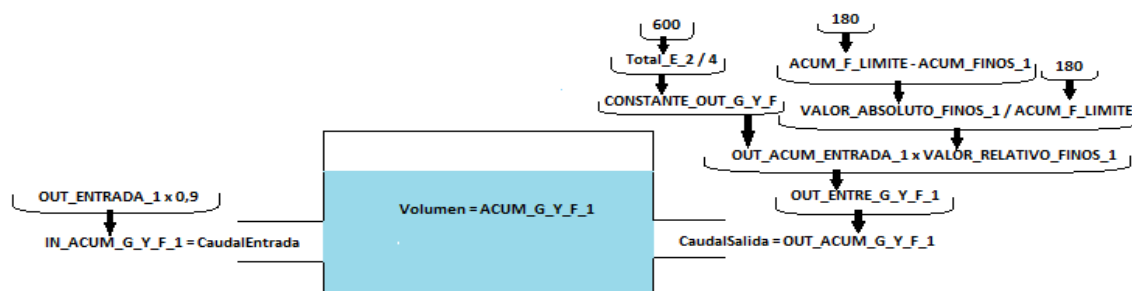


Figura 3.30. Esquema del volumen de agua entre desbaste grueso y fino y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [41] Propia)

Después se fija un valor de volumen de 3000 m^3 para cada volumen entre grueso y fino, pasado ese valor, el caudal de entrada pasaría a cero, tal como se muestra en la Figura 3.31.

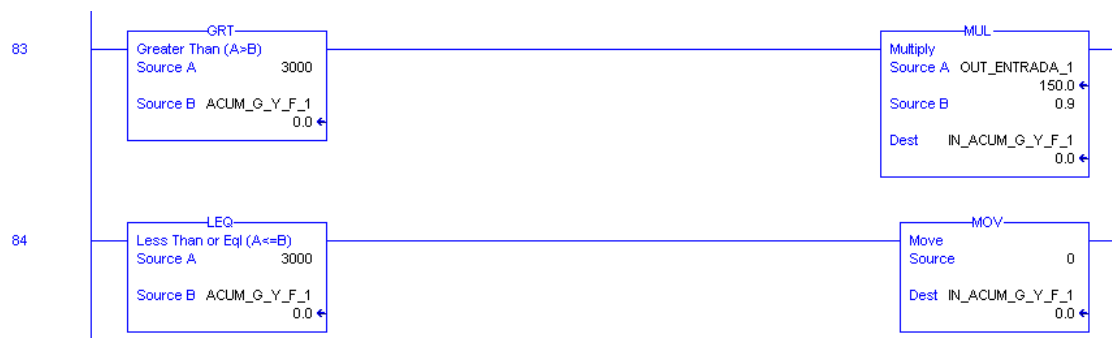


Figura 3.31. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [42] Propia)

después cuando el volumen acumulado de agua entre desbaste grueso y fino sea cero, tenga un caudal de salida de cero, esto es por que su caudal de salida se contabiliza como caudal de entrada de los desarenados, tal como se muestra en la Figura 3.32.

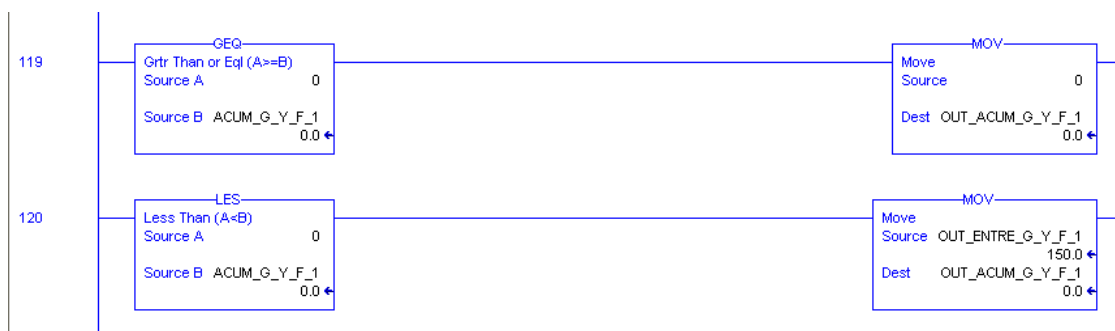


Figura 3.32. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [43] Propia)

Y por último se actualiza el volumen acumulado cada 1 milisegundo, como en la Figura 3.33.

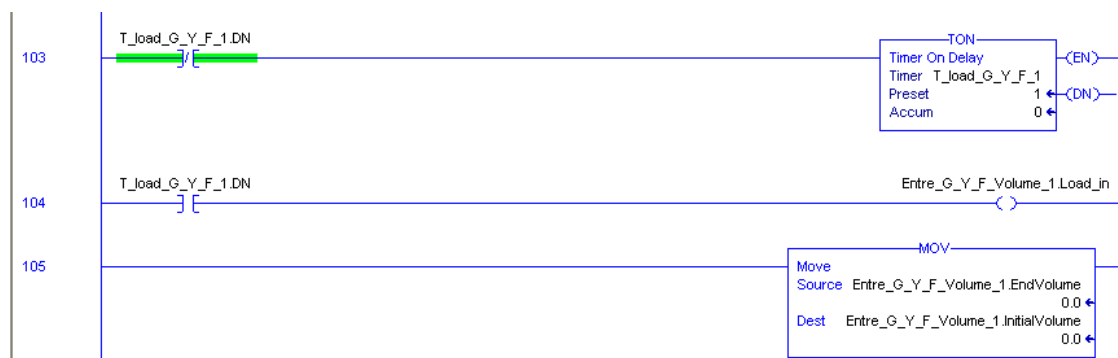


Figura 3.33. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [44] Propia)

- Volumen de basura fina

Se codificaron cuatro volúmenes de basura fina que las rejillas acumula, en el que cada volumen de basura fina tiene un caudal de entrada del 10% y dividido entre cuatro del caudal de salida del volumen de agua antes del desbaste. Con un caudal de salida de $50\text{m}^3/\text{s}$ que depende si está en marcha su actuador lineal. El esquema del volumen acumulado y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.34.

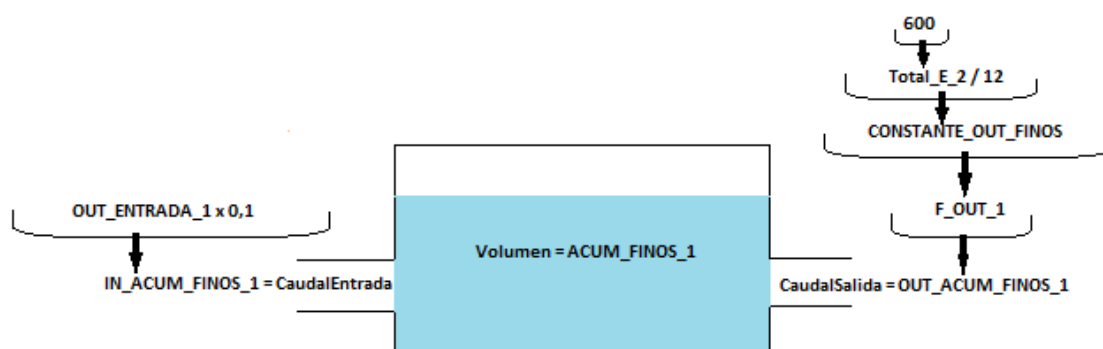


Figura 3.34. Esquema del volumen de basura fina y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [45] Propia)

En el volumen se fija un valor máximo de 180m^3 , pasado este valor acumulado, el caudal de entrada pasaría a ser cero. Tal como se muestra en la Figura 3.35.

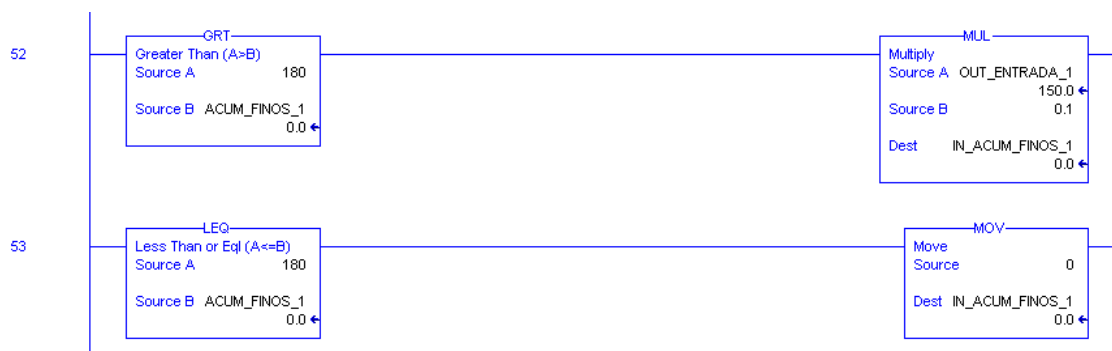


Figura 3.35. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [46] Propia)

Y por último se actualiza el volumen de basura fina acumulado cada 1 milisegundo, tal como se muestra en la Figura 3.36.

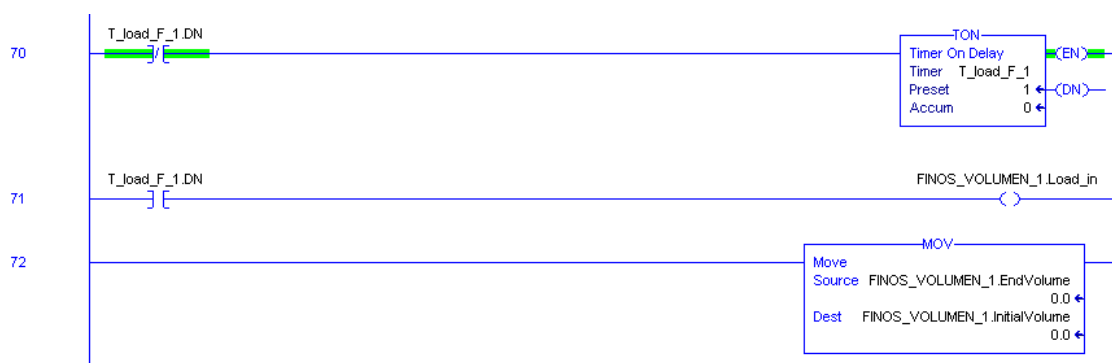


Figura 3.36. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [47] Propia)

Después de haber codificado todos los volúmenes necesarios, se suman los dos volúmenes de agua que son: el volumen de agua antes del desbaste (ACUM_ENTRADA) y los cuatro volúmenes de agua entre el desbaste grueso y fino, después se le da oscilación para que tenga algo de realismo y por último se divide entre el área de la base con un valor de 1100 m^2 para ser emitida por el transmisor de nivel de altura. El transmisor por defecto marca un valor de 1,5 metros, que se considera el agua que se queda estancada debido a anteriores procesos.

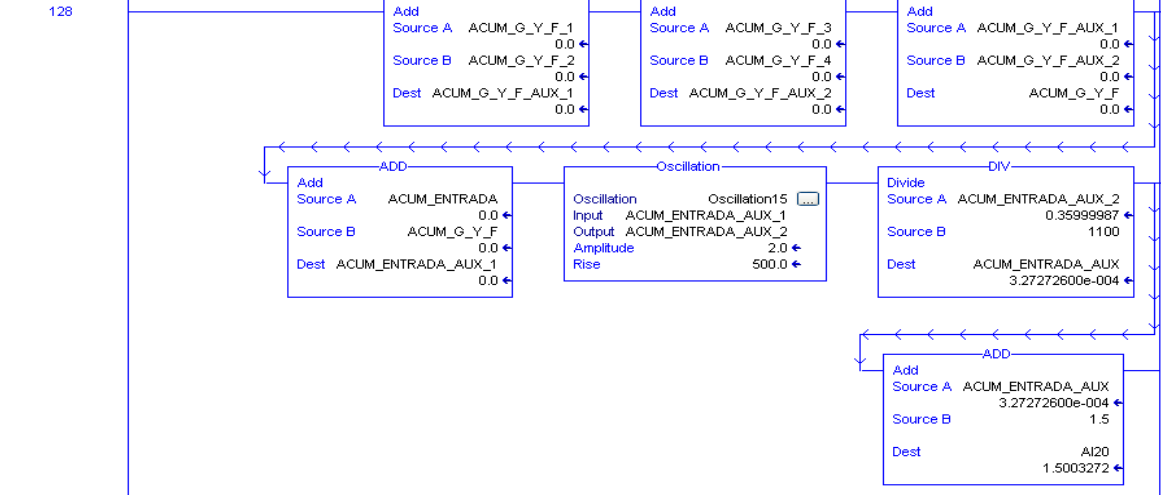


Figura 3.37. Código de la etapa de desbaste. (Fuente [48] Propia)

Etapa de Desarenado (_130_Desander)

En la etapa de desarenado solo se codifico el volumen acumulado de arena y no el volumen acumulado del agua, ya que la única información que interesa es la cantidad de arena acumulada.

Hay dos desarenados, por lo que se codificaron dos volúmenes de arena. Cada volumen tiene un caudal de entrada que es igual al 30% del caudal de salida del volumen de agua entre desbaste grueso y fino dividido entre dos. Y un caudal de salida de $112,5 \text{ m}^3/\text{s}$. El esquema del volumen acumulado y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.38.

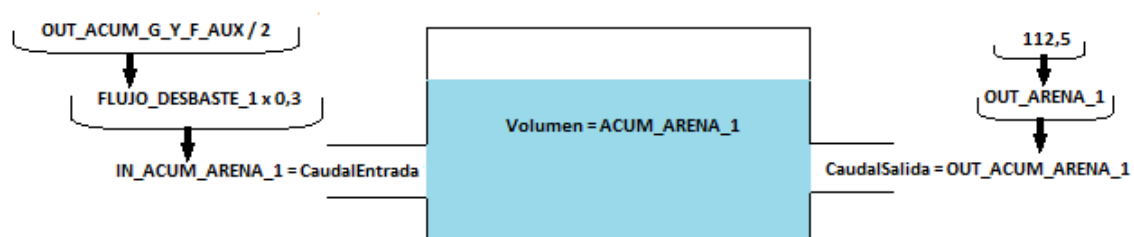


Figura 3.38. Esquema del volumen de arena y sus caudales de entrada y salida.
(Fuente [49] Propia)

Se fija un límite de volumen de 55000, pasado este volumen su caudal de entrada pasa a ser cero.

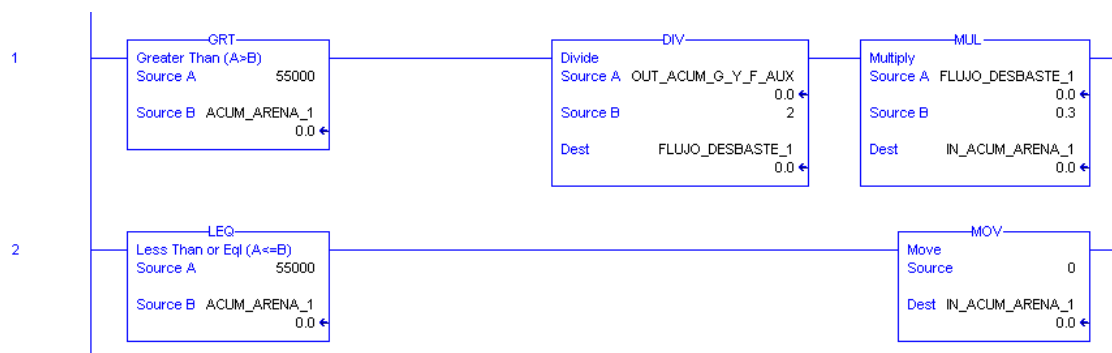


Figura 3.39. Código de la etapa de desarenado. (Fuente [50] Propia)

El caudal de salida solo está presente si su correspondiente motor de elevación, motor de la rasqueta y su válvula todo/nada están en marcha a la vez. Y no está presente si su motor de elevación o bien su motor de rasqueta o su válvula todo/nada no está en marcha.

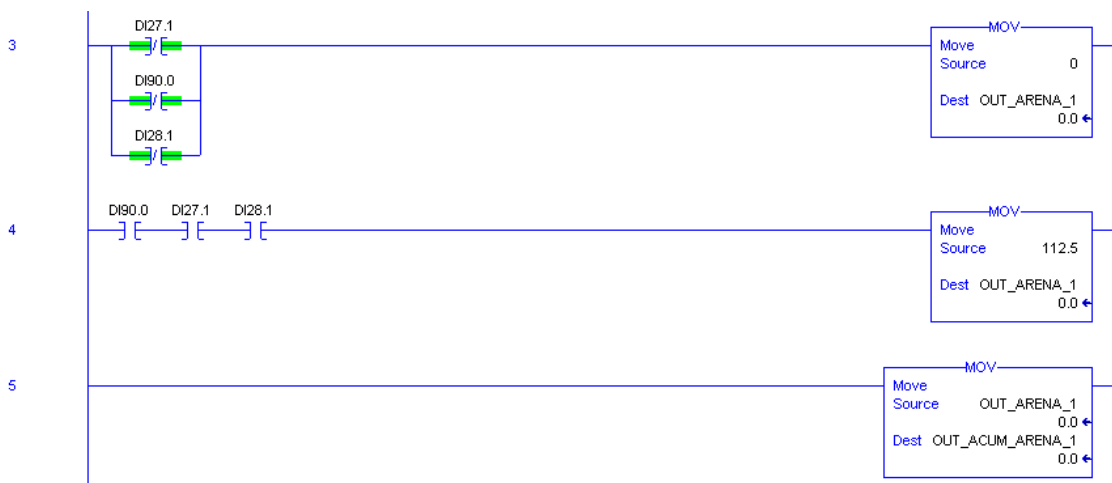


Figura 3.40. Código de la etapa de desarenado. (Fuente [51] Propia)

Se actualiza su volumen de arena acumulado cada 1 milisegundo como la Figura 3.41.

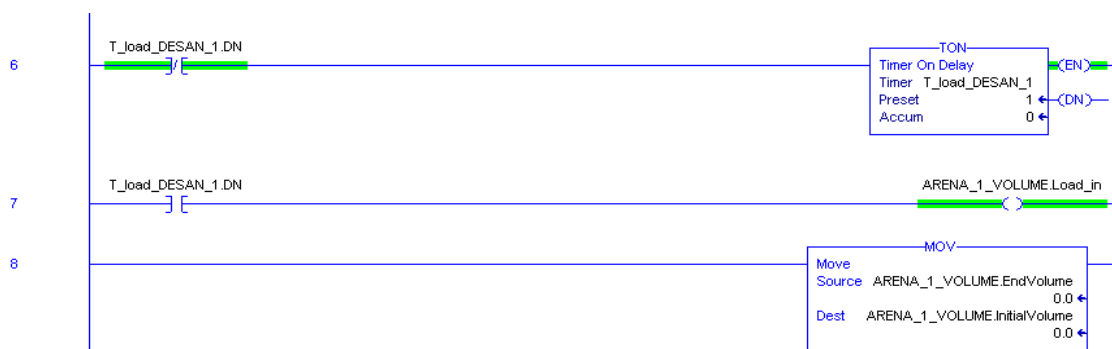


Figura 3.41. Código de la etapa de desarenado. (Fuente [52] Propia)

Al volumen acumulado de arena se le aplica oscilación, después se fija a cero si sale un valor negativo en la oscilación y por último se le divide entre la base del tanque con un valor de 1100 m^2 , el resultado será transmitido en el transmisor de nivel de altura.

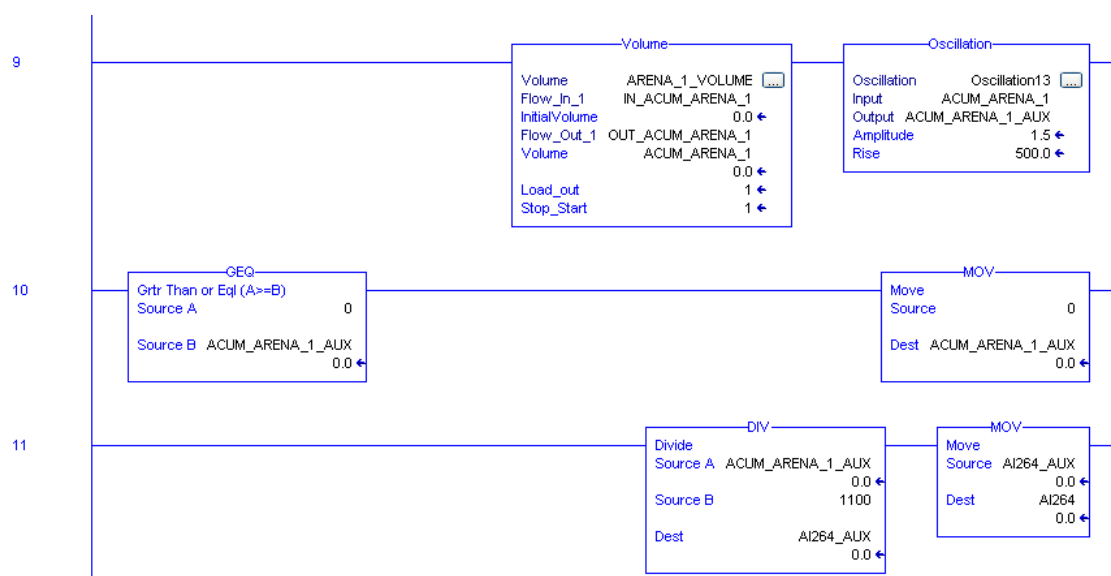


Figura 3.42. Código de la etapa de desarenado. (Fuente [53] Propia)

Etapas de Decantador primario (_150_PrimaryDecanter)

En esta etapa hay dos decantados primarios, por lo que se codificaron dos volúmenes de floculantes, los volúmenes de agua no se consideran porque no transmiten información en este trabajo. En la Figura 3.44. se observa formulado, el volumen del floculante y sus caudales de entrada y de salida con las variables involucradas.

El caudal de salida del volumen del floculante tiene un valor constante de 14,4 m³/s y el caudal de entrada es debido a la reacción producida por la mezcla entre el reactivo químico y el agua. En este trabajo se considera una relación tal como se ve en la Figura 3.43. en el que por cada 0,05 m³ de reactivo químico junto a 10 m³ de agua produce 1m³ de floculante.

Reactivo químico	Agua	Floculante
0,05m ³	10m ³	1m ³
CAUDAL_DP_1	AI211	X

$$\frac{0,05}{CAUDAL_DP_1} = \frac{10}{AI211} = \frac{1}{X}$$

$$X = \frac{CAUDAL_DP_1 \times AI211}{0,05 \times 10}$$

$$IN_ACUM_FLOCULO_1 = X = \frac{PRODUCTO_F_1}{0,5}$$

Figura 3.43. Relación entre reactivo químico, agua y floculante. (Fuente [54] Propia)

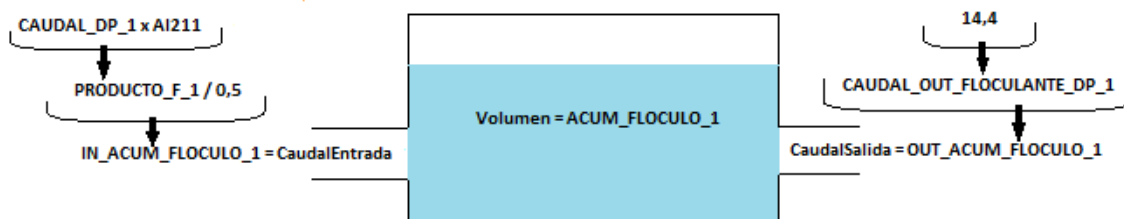


Figura 3.44. Esquema del volumen de floculante y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [55] Propia)

Tal como se puede ver el código del decantado primario 1 en la Figura 3.45, en el que se condiciona que tiene que existir caudal de agua entrante (AI211), además tiene que estar en marcha el motor sumergible (DI40.0) y motor de la mezcladora (DI60.1) para que exista caudal de reactivo químico (CAUDAL_DP_1).

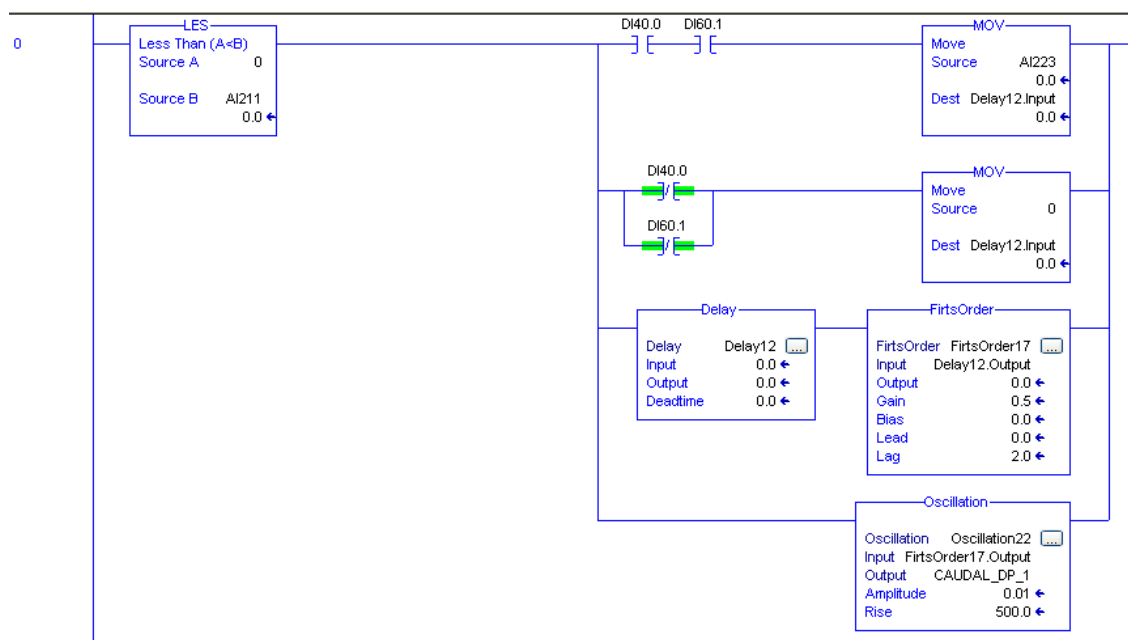


Figura 3.45. Código de la etapa de decantado primario. (Fuente [56] Propia)

Se fija el total de volumen del floculante con un valor de 250000 m^3 , pasado este valor, el caudal de entrada es cero, como en la Figura 3.46.

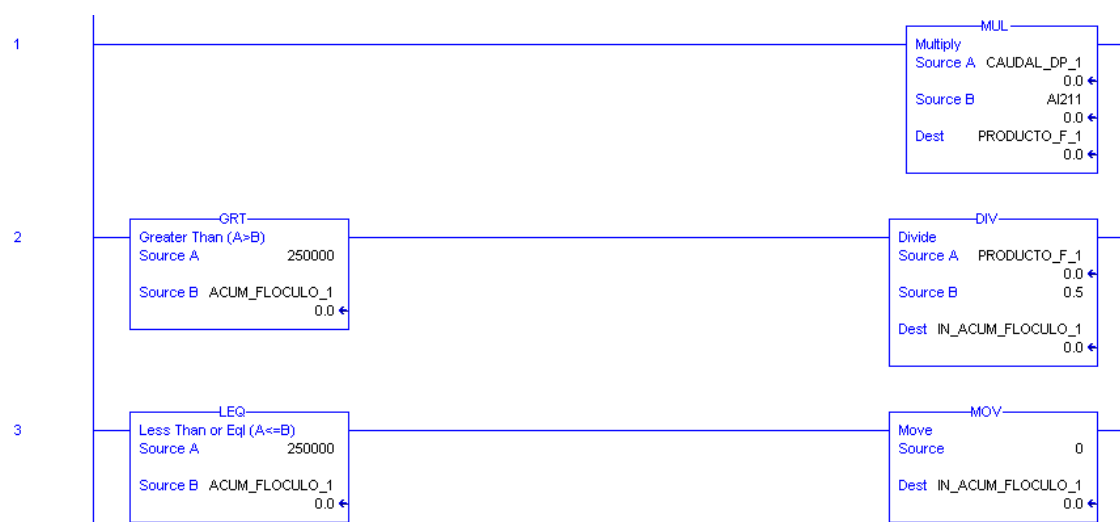


Figura 3.46. Código de la etapa de decantado primario. (Fuente [57] Propia)

Como el código del decantado primario 1 mostrado en la Figura 3.47, si está en marcha la válvula todo/nada (DI30.0), el motor de la rasqueta (DI80.1), y el motor del agitador elevador (DI70.1) a la vez, se habilita el caudal de salida del floculante, si cualquiera de estos actuadores está inactivo, se deshabilitará el paso del caudal de salida del floculante.

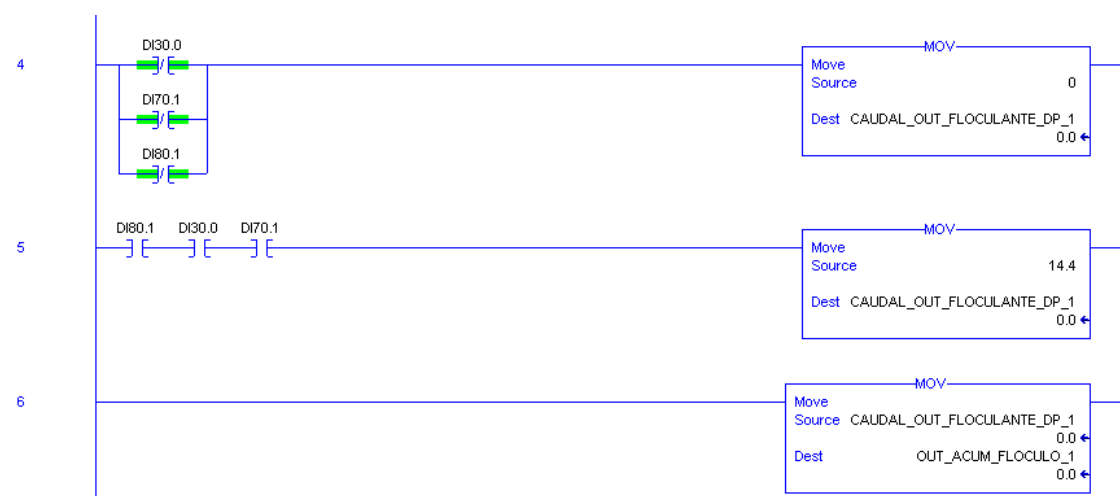


Figura 3.47. Código de la etapa de decantado primario. (Fuente [58] Propia)

Etapa de Tratamiento biológico (_30_AerationTank)

La etapa de tratamiento no se describe porque es parte del PBL.

Etapa de Decantación secundaria (_70_Setlink_Tank)

En esta etapa se codificó directamente la altura acumulada del floculante, haciendo uso del Add-On como en los volúmenes. Como caudal de entrada es el caudal de agua entrante al tratamiento biológico (AI01) dividido entre 5000. Y con un caudal de salida de 0,028 m. El esquema del volumen acumulado (o

altura acumulada) y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.48.



Figura 3.48. Esquema del volumen del floculante del decantado secundario y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [59] Propia)

Tal como en la Figura 3.49, para que la altura acumulada no vaya al infinito, se fija una altura máxima de 50 metros, pasados esta altura, su caudal de entrada será cero.

También se ha puesto una condicional que si la válvula reguladora está abierta se active el caudal de entrada en caso contrario se desactive, esta condicional se colocó debido a que muchas veces, aunque la válvula reguladora está cerrada, existe oscilaciones que hacen que se contabilice la cantidad de floculante entrante en el decantado secundario.

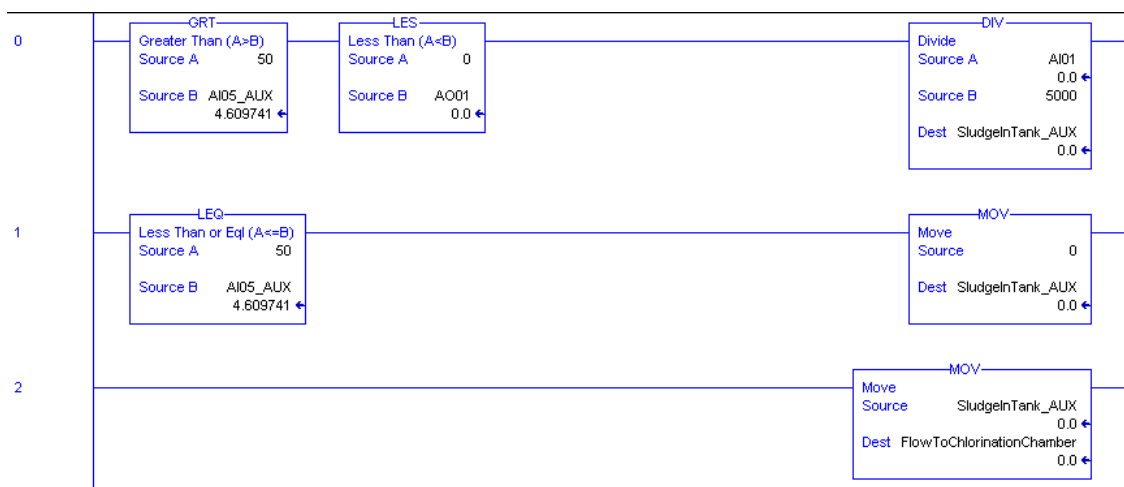


Figura 3.49. Código de la etapa de decantado secundario. (Fuente [60] Propia)

Como en la Figura 3.50, para que el caudal de salida del floculo sea 0,028 m, tanto su válvula todo/nada (DI1.4) y motor de la rasqueta (DI2.4) tienen que estar activadas a la vez, en caso contrario el caudal de salida del floculo es cero.

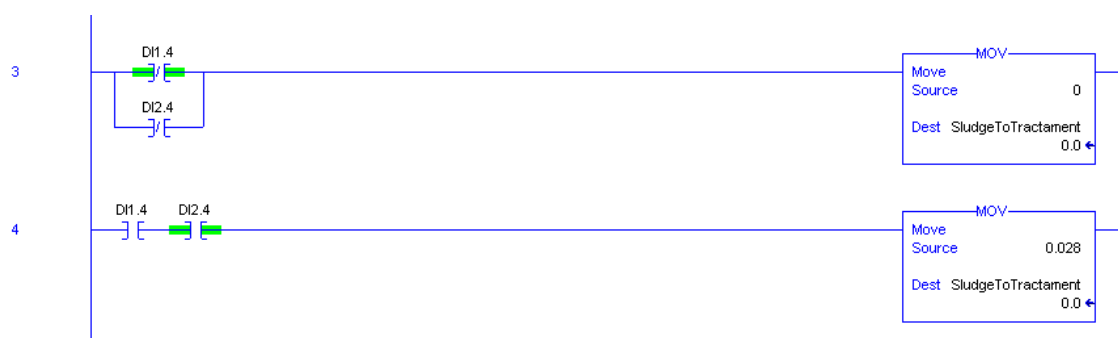


Figura 3.50. Código de la etapa de decantado secundario. (Fuente [61] Propia)

Después se actualiza la altura acumulada del floculante cada 1 milisegundo tal como se muestra en la Figura 3.51.

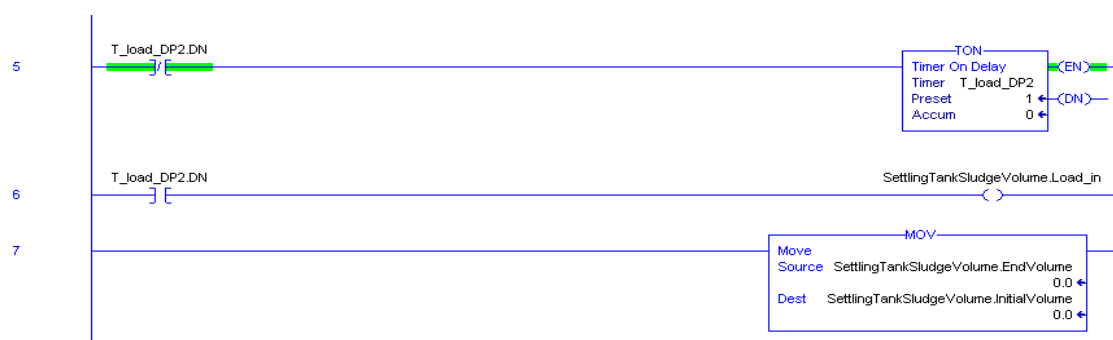


Figura 3.51. Código de la etapa de decantado secundario. (Fuente [62] Propia)

Etapas de Cámara de Cloración (_80_ChlorinationChamber)

En esta etapa se codifico dos volúmenes, un volumen de agua y otro volumen de cloro, ya que los dos son necesarios para aportar información.

En el volumen de agua se tiene como caudal de entrada el 80% del caudal de entrada de agua que entra al tratamiento biológico, el otro 20% es considerado floculo que se queda en la etapa de decantado secundario. Como caudal de salida es proporcional al agua que hay en la mezcla, siendo la salida total de la mezcla 14 m³/s. El esquema del volumen acumulado del agua y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.52.

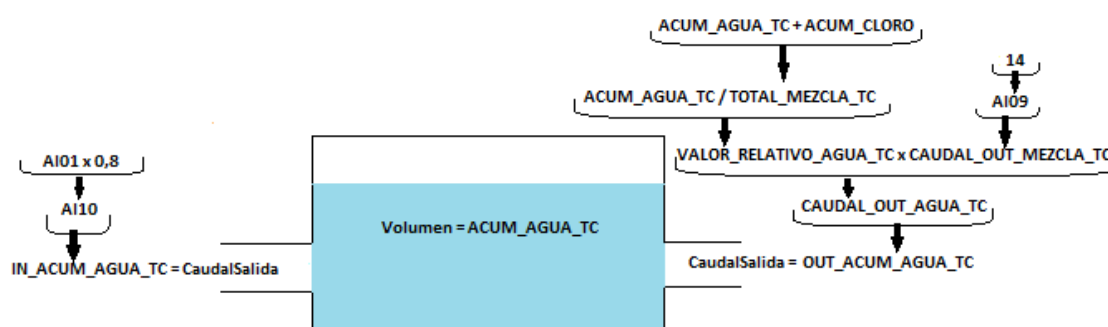


Figura 3.52. Esquema del volumen del agua de la cámara de cloración y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [63] Propia)

Tal como en la Figura 3.53, se observa que el volumen de agua acumulada se fija en un valor de 250000 m³, si en caso pasa de este valor, el caudal de entrada es cero.

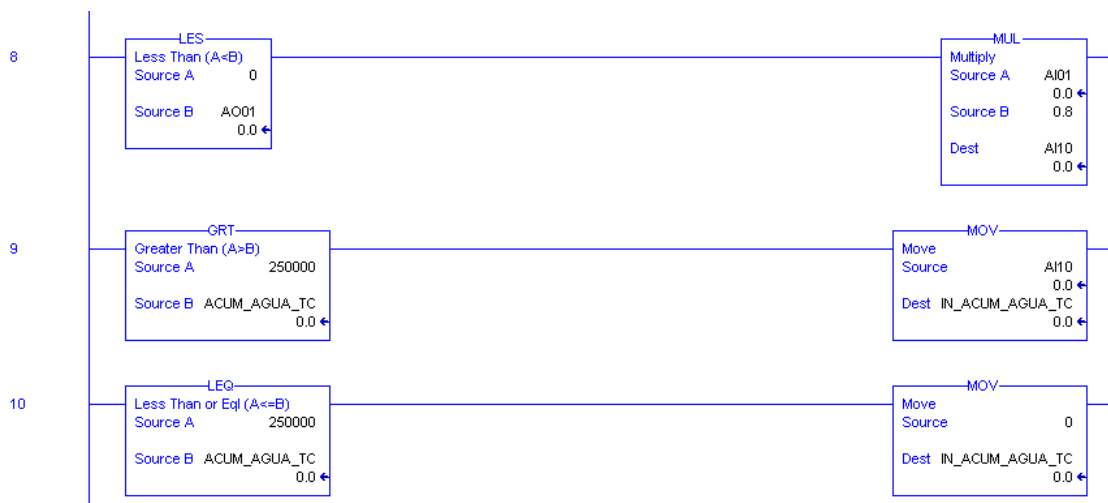


Figura 3.53. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [64] Propia)

Tal como en la Figura 3.54, se asegura que el total de la mezcla tiene que ser mayor a cero para que no haya una indeterminación para hallar el valor relativo del agua. Y también se asegura que cuando el total de la mezcla es cero, los valores relativos de agua y cloro sean cero.

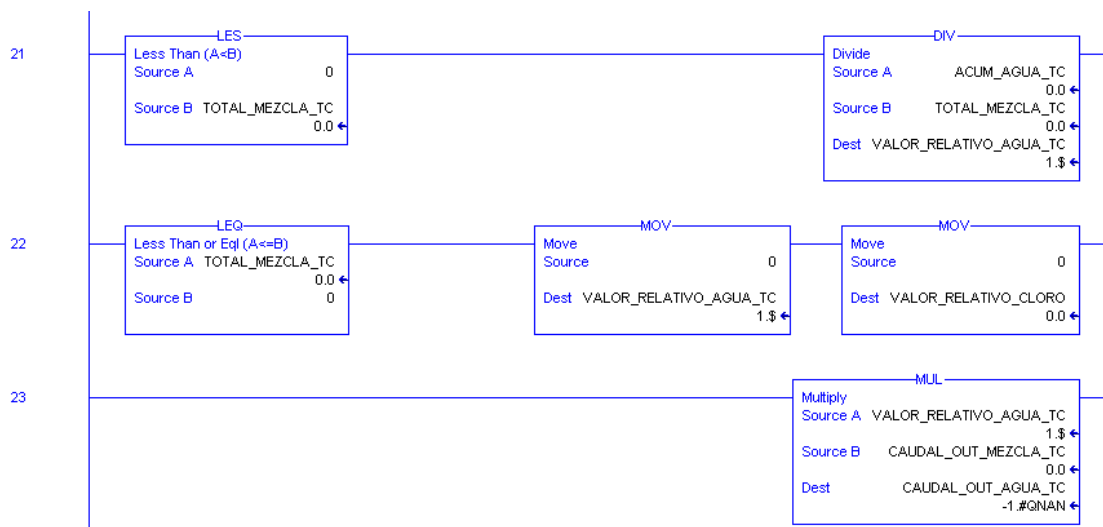


Figura 3.54. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [65] Propia)

Después se actualiza el volumen de agua cada 1 milisegundo tal como en la Figura 3.55.

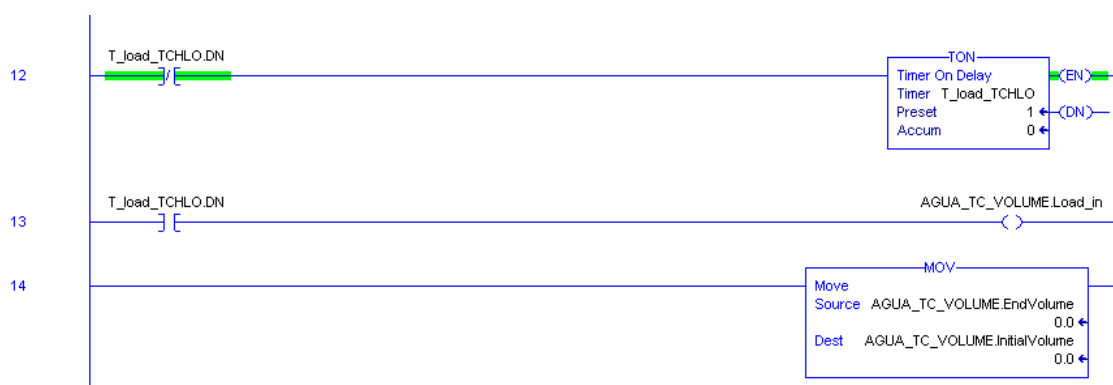


Figura 3.55. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [66] Propia)

En el volumen de cloro se tiene como caudal entrada el flujo proporcional a la abertura de la bomba dosificadora. Y como caudal de salida el flujo proporcional al cloro que hay en la mezcla, siendo la salida total de la mezcla de 14 m³/s. El esquema del volumen acumulado del cloro y sus caudales de entrada y salida con las variables involucradas es tal como se muestra en la Figura 3.56.

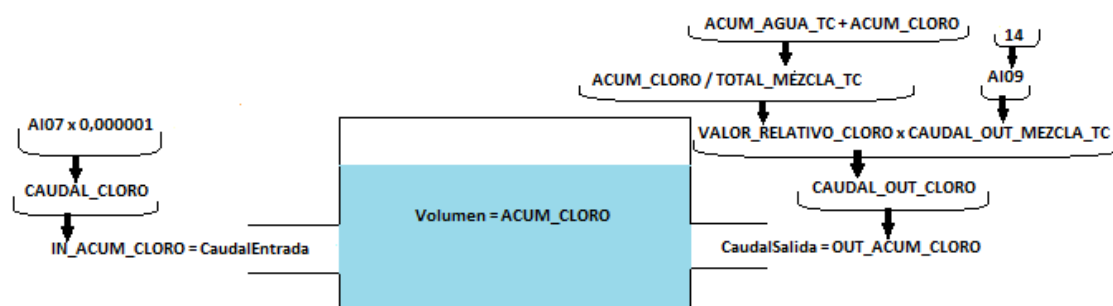


Figura 3.56. Esquema del volumen del cloro de la cámara de cloración y sus caudales de entrada y salida. (Fuente [67] Propia)

Se fija el volumen de cloro con un valor de 250000 m³, para que no se vaya al infinito, pasado este volumen, el caudal de entrada es cero. Esto se ve en la Figura 3.57.

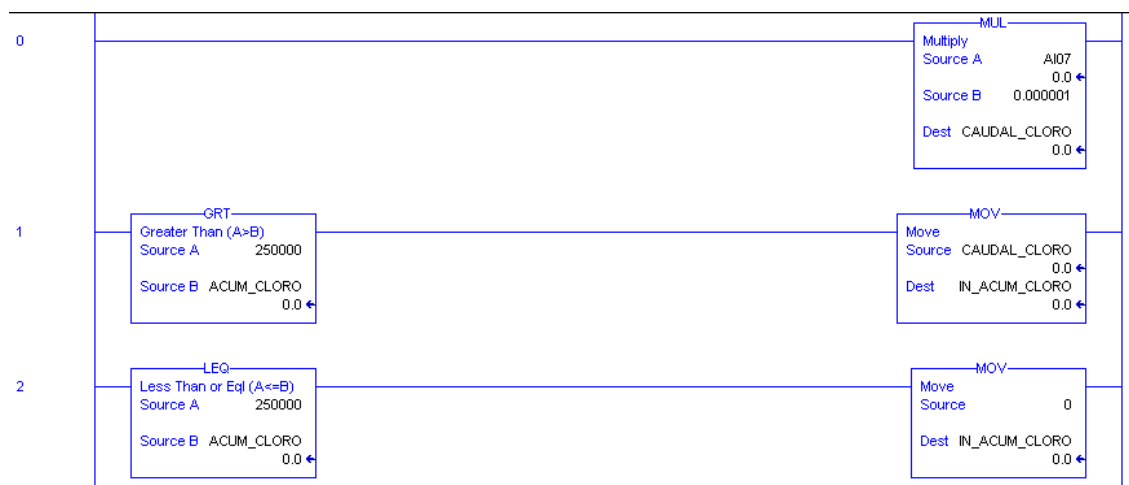


Figura 3.57. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [68] Propia)

Se actualiza el volumen del cloro cada 1 milisegundo, tal como en la Figura 3.58.

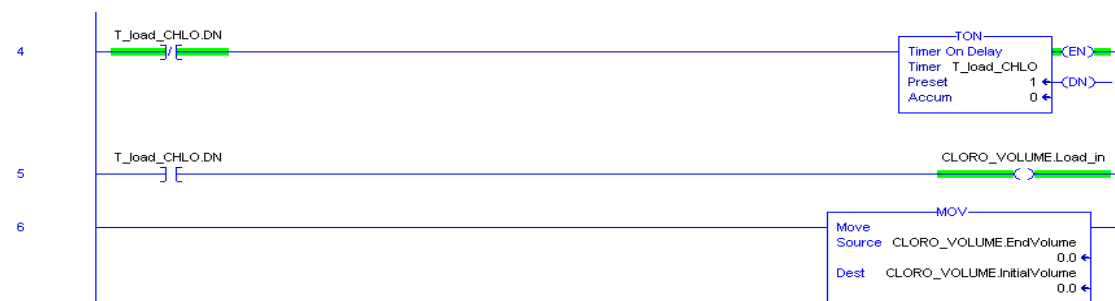


Figura 3.58. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [69] Propia)

Se asegura de hallar el valor relativo del cloro cuando el total de mezcla sea mayor a cero para que no exista indeterminaciones, tal como en la Figura 3.59.

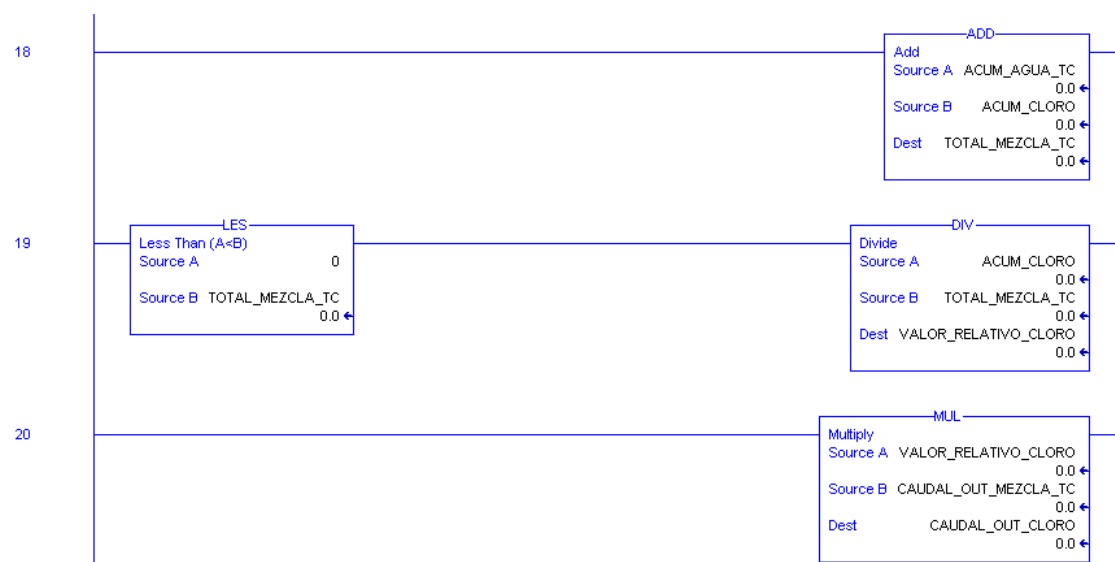


Figura 3.59. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [70] Propia)

Después como se necesita saber el partes de millón en el transmisor, el valor relativo se multiplica por 1000000 y se le aplica un Delay, un FirtsOrder y un Oscillation para dar una apariencia de retardo y realismo, tal como se muestra en la Figura 3.60.

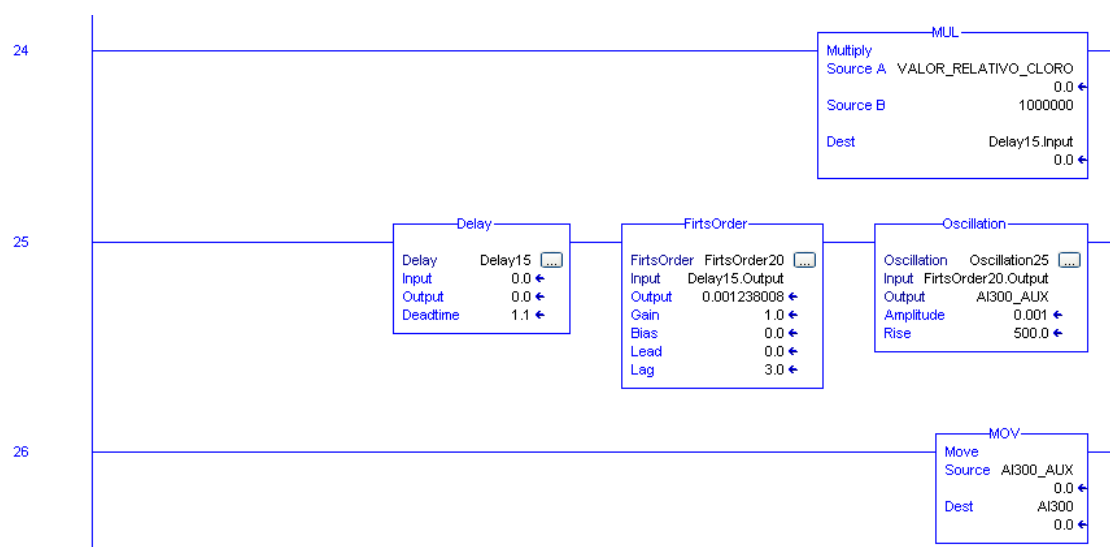


Figura 3.60. Código de la etapa de la cámara de cloración. (Fuente [71] Propia)

3.3. Descomposición del problema de control

El control de este proceso se lleva a cabo en las 7 etapas, solo se mencionan 6 porque la etapa de tratamiento biológico pertenece al PBL. Estas son:

En la etapa de elevación se procura controlar el nivel de agua mediante la marcha de los tornillos de Arquímedes, esto se da por un control todo/nada.

En la etapa de desbaste se controla el nivel de agua mediante los actuadores lineales para liberar los taponamientos de las rejillas que hacen que se acumule el nivel de agua. El control en esta etapa es un todo/nada.

En la etapa de desarenado se controla el nivel de arena mediante la marcha y paro del motor para elevación junto con su válvula todo/nada. El control en esta etapa es un todo/nada.

En la etapa de decantado primario se da el control primero del caudal de agua entrante por medio de una válvula reguladora y después en el nivel de floculo existente en el tanque por medio de una bomba dosificadora. El control del caudal de agua y del nivel de floculo se hacen mediante el uso del PID

En la etapa de decantado secundario se da el control del nivel de floculo mediante la abertura o cierre de una válvula todo/nada. El control en esta etapa es un todo/nada.

En la etapa de la cámara de cloración se da el control de la concentración de cloro mediante el grado de abertura de una bomba dosificadora. El control en esta etapa es mediante el uso de un PID.

3.4. Codificación de los elementos y sistemas

La codificación en el programa es variada, dependiendo lo que se ejecuta.

En el programa de control, la rutina principal es en donde se hace el salto a todas las rutinas existentes en el programa, para hacer estos saltos se utiliza la instrucción (JSR). En las rutinas de entradas y salidas, cuando son booleanos, se utiliza los contactos normalmente abiertos (XIC) y la activación de salida (OTE) y cuando los datos de entradas y salidas son de tipo real o entero, es utilizada la instrucción de mover (MOV). En las rutinas de los elementos, hay más variedad de instrucciones, además del XIC, OTE y el MOV, se encuentran el enclavamiento de salida (OTL), el desenclave de salida (OTU), el temporizador (TON), el *reset* de un temporizador (RES), el contador creciente (CTU), el contacto normalmente cerrado (XIO), las instrucciones de comparación (EQU, NEQ, LES, GRT, LEQ y GEQ), las instrucciones matemáticas (ADD, SUB, MUL y DIV); si hay elementos que se indexan, al principio de la rutina se colocó la instrucción SBR y al final de la rutina RET. En las rutinas de sistemas, además de las instrucciones mencionadas en las rutinas de elementos, se encuentra la instrucción PID, de impulso (ONS) y de borrar (CLR).

En el programa de simulación, además de las instrucciones mencionadas en el programa de control, se encuentra también los Add-On's, la instrucción carga FIFO (FFL) y la instrucción promedio de archivo (AVE)

En los Add-On's, además de las instrucciones mencionadas en el programa de control y de simulación se encuentran la instrucción tiempo muerto (DEDT) y la instrucción adelanto-retardo (LDLG).

3.5. Definición de las interfaces del sistema de control

Tal como la Figura 3.61, en la ventana enmarcada de color rojo es donde se realizan todas las acciones de la red en conjunto, también se corren las acciones más utilizadas.

En la ventana enmarcada de color azul es donde se escribe la lógica del controlador.

En la ventana enmarcada de color verde, es el organizador del controlador, donde se crean los diferentes tipos de tareas, los diferentes tipos de datos, la configuración del punto I/O, etc.

Y en la ventana enmarcada de color negro es donde se visualiza si hay errores, previstos, etc.

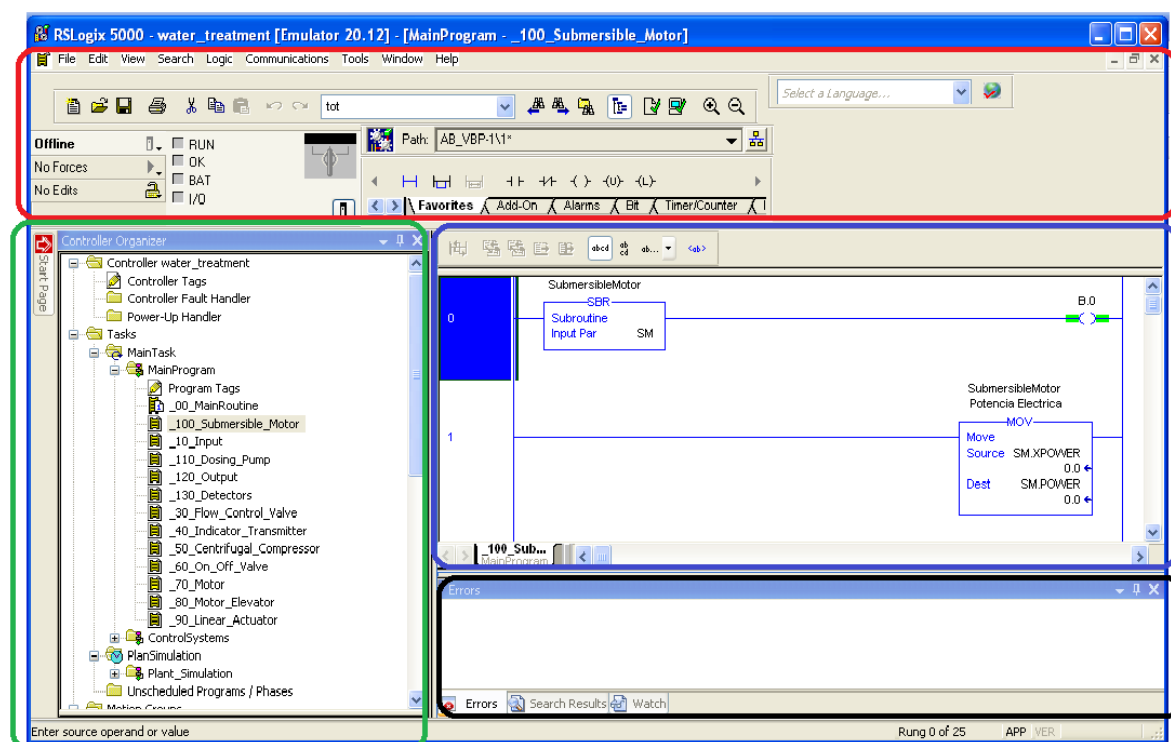


Figura 3.61. Pantalla de RSLogix 5000 Enterprise. (Fuente [72] Propia)

3.6. Definición del fichero de intercambio Controlador-SCADA

El fichero de intercambio Controlador-SCADA ayuda a ubicar en que campo son entrada o salida los *tag's*. estos se ven desde la Tabla 3.1 hasta la Tabla 3.18.

Tipos Actuador Lineal: AL_G_01, AL_G_02, AL_G_03, AL_G_04, AL_F_01, AL_F_02, AL_F_03, AL_F_04, AL_DESAREN_01, AL_DESAREN_02				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
2	Estado en Automatico	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
3	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
4	Estado en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
5	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
6	Estado en Comprimido	E_COMPRESSED	BOOL			1	1		
7	Estado en Extendido	E_EXTENDED	BOOL			1	1		
8	Estado en Extendiendo	E_EXTENDING	BOOL			1	1		
9	Estado en Comprimiendo	E_COMPRESSING	BOOL			1	1		
10	Orden de Paro del Compresor en Automatico	C_STOP_A	BOOL			1			
11	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
12	Orden Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
13	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
14	Orden de Reset	C_RESET	BOOL	1					1
15	Orden de Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
16	Orden de Marcha en Automatico	C_START_A	BOOL			1			
17	Orden de Extender	C_EXTENDED	BOOL	1					1
18	Orden de Comprimir	C_COMPRESS	BOOL	1					1
19	Orden de Extender en Automatico	C_EXTEND_A	BOOL			1			
20	Orden de Comprimir en Automatico	C_COMPRESS_A	BOOL			1			
21	Señal de salida de Extender	YEXTEND	BOOL			1			
22	Señal de salida de Comprimir	YCOMPRESS	BOOL			1			
23	Señal de entrada de Extendido	XEXTENDED	BOOL	1					
24	Señal de entrada de Comprimido	XCOMPRESSED	BOOL	1					
25	Señal de entrada de Extendiendo	XEXTENDING	BOOL	1					
26	Señal de entrada de Comprimiendo	XCOMPRESSING	BOOL	1					
27	Variable Auxiliar	T_LA_1	TIMER						
28	Variable Auxiliar	T_LA_2	TIMER						
29	Variable Auxiliar	T_COMPRESS	TIMER						
30	Variable Auxiliar	T_EXTEND	TIMER						
31	Variable Auxiliar	compress	BOOL						
32	Variable Auxiliar	extend	BOOL						
33	Variable Auxiliar	AUX_AUT_1	BOOL						
34	Variable Auxiliar	AUX_AUT_2	BOOL						
35	Variable Auxiliar	AUX_AUT_3	BOOL						
36	Variable Auxiliar	AUX_AUT_4	BOOL						

Tabla 3.1. Fichero de intercambio del actuador lineal. (Fuente [1] Propia)

Señales de Campo		Señales de Campo		Señales de Campo		Señales de Campo		Señales de Campo	
AL_G_01		AL_G_02		AL_G_03		AL_G_04		AL_F_01	
E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
DI22.2		DI22.7		DI22.12		DI23.2		DI24.2	
DI22.3		DI22.8		DI22.13		DI23.3		DI24.3	
DI31.0		DI31.2		DI31.4		DI31.6		DI31.8	
DI31.1		DI31.3		DI31.5		DI31.7		DI31.9	
	DO22.0		DO22.5		DO22.10		DO23.0		DO24.0
	DO22.4		DO22.9		DO22.14		DO23.4		DO24.4
Señales de Campo		Señales de Campo		Señales de Campo		Señales de Campo		Señales de Campo	
AL_F_02		AL_F_03		AL_F_04		AL_DESAREN_01		AL_DESAREN_02	
E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
DI24.7		DI24.12		DI25.2		DI29.2		DI29.7	
DI24.8		DI24.13		DI25.3		DI29.3		DI29.8	
DI31.10		DI31.12		DI31.14		DI32.0		DI32.2	
DI31.11		DI31.13		DI31.15		DI32.1		DI32.3	
	DO24.5		DO24.10		DO25.0		DO29.0		DO29.5
	DO24.9		DO24.14		DO25.4		DO29.4		DO29.9

Tabla 3.2. Fichero de intercambio del actuador lineal. (Fuente [2] Propia)

Tipos Motor para elevación: ME_01, ME_02, ME_03, ME_04, ME_05, ME_06, ME_DESAR_01, ME_DESAR_02				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
2	Estado en Automatico	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
3	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
4	Estado en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
5	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
6	Estado en Marcha del Compresor	E_RUNNING	BOOL			1	1		
7	Orden de Paro del Compresor en Automatico	C_STOP_AUT	BOOL			1			
8	Orden de Paro del Compresor	C_STOP	BOOL	1					1
9	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
10	Orden Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
11	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
12	Orden de Reset	C_RESET	BOOL	1					1
13	Orden de Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
14	Orden de Marcha	C_START	BOOL	1					1
15	Orden de Marcha en Automatico	C_START_AUT	BOOL			1			
17	Señal de salida de Marcha de Motor	YSTART	BOOL			1			
18	Señal de salida de Paro de Motor	YSTOP	BOOL			1			
19	Variable Auxiliar	T_START	TIMER						
20	Variable Auxiliar	T_STOP	TIMER						
21	Señal Analogica de entrada de Potencia electrica	XPOWER	REAL	1					
22	Potencia Electrica	POWER	REAL			1	1		
23	Variable Auxiliar	start	BOOL						
24	Variable Auxiliar	stop	BOOL						

Tabla 3.3. Fichero de intercambio de motor para elevación. (Fuente [3] Propia)

Señales de Campo				Señales de Campo			
ME_01		ME_02		ME_03		ME_04	
E	S	E	S	E	S	E	S
DI1.1		DI1.4		DI1.7		DI1.10	
DI1.2		DI1.5		DI1.8		DI1.11	
	DO1.2		DO1.4		DO1.6		DO1.8
	DO1.7		DO1.8		DO1.9		DO1.10
Señales de Campo				Señales de Campo			
ME_01		ME_02		ME_03		ME_04	
E	S	E	S	E	S	E	S
DI1.3		DI1.6		DI1.9		DI1.12	
DI1.4		DI1.7		DI1.10		DI1.13	
	DO1.12		DO1.12		DO1.12		DO1.12
	DO1.17		DO1.16		DO1.15		DO1.14

Tabla 3.4. Fichero de intercambio de motor para elevación. (Fuente [4] Propia)

Tipos Motor Sumergible: SM_01, SM_02				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Típos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
2	Estado de Circuito de Frio OK	E_COOLOK	BOOL			1	1		
3	Estado en Automatico	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
4	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
5	Estado en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
6	Estado en Marcha	E_RUNNING	BOOL			1	1		
7	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
8	Estado Preparado para Funcionar	E_READY	BOOL			1	1		
9	Estado Presion Aceite Ok	E_OILOC	BOOL			1	1		
10	Potencia Electrica	POWER	REAL			1	1		
11	Horas de Marcha	RHOURS	DINT			1	1		
12	Horas Totales	THOURS	DINT			1	1		
13	Orden de Paro del Compresor	C_STOP	BOOL	1					1
14	Orden de Marcha del Compresor	C_START	BOOL	1					1
15	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
16	Orden Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
17	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
18	Orden de Reset	C_RESET	BOOL	1					1
19	Orden de Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
20	Orden de Marcha de Circuito de Frio	C_COOL	BOOL	1					1
21	Orden de Marcha de Bomba de Aceite	C_OIL	BOOL	1					1
22	Orden de Paro de Compresor en Automatico	C_STOP_AUTO	BOOL			1			
23	Orden de Marcha del Circuito de Frio en Automatico	C_COOL_AUTO	BOOL			1			
24	Orden de Marcha de Bomba de Aceite en Automatico	C_OIL_AUTO	BOOL			1			
25	Orden de Marcha del Compresor en Automatico	C_START_AUTO	BOOL			1			
26	Señal Analogica de entrada de Potencia electrica	XPOWER	REAL	1					
27	Señal de entrada de Marcha del Compresor	XRUNNING	BOOL	1					
28	Señal de entrada de Alarma	XALARM	BOOL	1					
29	Señal de entrada del Circuito de Frio OK	XCOOL	BOOL	1					
30	Señal de entrada de Presion de Aceite OK	XOIL	BOOL	1					
31	Señal de salida de Marcha del Compresor	YSTART	BOOL			1			
32	Señal de salida Reset de Alarmas	YRESET	BOOL			1			
33	Señal de salida de Marcha del Circuito de Frio	YCOOL	BOOL			1			
34	Señal de Salida de Marcha de Bomba de Aceite	YOIL	BOOL			1			
35	Temporizador de Horas de Marcha	T_HRUNNING	TIMER						
36	Temporizador de Horas Totales	T_HTOTAL	TIMER						
37	Contador de Horas de Marcha	C_HRUNNING	COUNTER						
38	Contador de Horas Totales	C_HTOTAL	COUNTER						
39	Variable Auxiliar	OneShot	DINT						
40	Variable Auxiliar	AUX_STOP	BOOL						

Tabla 3.5. Fichero de intercambio del motor sumergible. (Fuente [5] Propia)

Señales de Campo			
SM_01		SM_02	
E	S	E	S
AI203		AI207	
DI40.0		DI40.4	
DI40.1		DI40.5	
DI40.2		DI40.6	
DI40.3		DI40.7	
	DO40.0		DO40.4
	DO40.1		DO40.5
	DO40.2		DO40.6
	DO40.3		DO40.7

Tabla 3.6. Fichero de intercambio del motor sumergible. (Fuente [6] Propia)

Tipos Válvula todo/nada: V_01, V_02, V_03, V_04, V_05, V_06				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
2	Orden de Cerrar	C_CLOSE	BOOL	1					1
3	Orden de Cerrar en Automatico	C_CLOSE_AUT	BOOL			1			
4	Orden de Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
5	Orden de Abrir	C_OPEN	BOOL	1					1
6	Orden de Abrir en Automatico	C_OPEN_AUT	BOOL			1			
7	Orden de Reset	C_RESET	BOOL	1					1
8	Orden de Fuera de Servicio	C_FSERVEI	BOOL	1					1
9	Orden de Servicio	C_SERVEI	BOOL	1					1
10	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
11	Estado en Automatico	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
12	Estado Cerrado	E_CLOSED	BOOL			1	1		
13	Estado en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
14	Estado Abierto	E_OPEN	BOOL			1	1		
15	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
16	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
17	Estado final de carrera abierta	E_FCO	BOOL			1	1		
18	Estado final de carrera cerrado	E_FCT	BOOL			1	1		
19	Señal Final Carrera Abierta	XOPEN	BOOL	1					
20	Señal Final Carrera Cerrada	XCLOSED	BOOL	1					
21	Señal de orden de Abrir	YOPEN	BOOL			1			
22	Señal de orden de Cerrar	YCLOSE	BOOL			1			
23	Señal de Reset	YRESET	BOOL			1			
24	Temporizador de Abrir	T_CLOSE	TIMER						
25	Temporizador de Cerrar	T_OPEN	TIMER						
26	Temporizador de Señal de Reset	T_RESET	TIMER						
27	Variable Auxiliar	open	BOOL						
28	Variable Auxiliar	close	BOOL						
29	Variable Auxiliar	OPEN_AUX	BOOL						
30	Variable Auxiliar	CLOSE_AUX	BOOL						

Tabla 3.7. Fichero de intercambio de válvula todo/nada. (Fuente [7] Propia)

Senyals de Camp				Senyals de Camp				Senyals de Camp			
V_01		V_02		V_03		V_04		V_05		V_06	
E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
DI1.1		DI1.4		DI30.0		DI30.4		DI90.0		DI90.4	
DI1.2		DI1.5		DI30.1		DI30.5		DI90.1		DI90.5	
	DO1.1		DO1.3		DO30.0		DO30.4		DO90.0		DO90.4
	DO1.2		DO1.4		DO30.1		DO30.5		DO90.1		DO90.5
	DO1.7		DO1.8		DO30.2		DO30.6		DO90.2		DO90.6

Tabla 3.8. Fichero de intercambio de válvula todo/nada. (Fuente [8] Propia)

Tipos Bomba Dosificadora: DPM_01, DPM_02, DPM_03				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Consigna de Posició	C_POSITION	REAL	1					1
2	Estat amb Alarmes	E_ALARM	BOOL			1	1		
3	Estat en Automàtic	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
4	Estat en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
5	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
6	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
7	Medida de Posición	POSITION	REAL			1	1		
8	Consigna de Posición en Automatico	C_POSITION_AUTO	REAL			1			
9	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
10	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
11	Orden de Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
12	Orden en Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
13	Orden de Reset de Alarmas	C_RESET	BOOL	1					1
14	Señal de Entrada de Alarma	XALARM	BOOL	1					
15	Señal de Entrada de Posición	XPOSITION	REAL	1					
16	Señal de Salida de Posición	YPOSITION	REAL			1			
17	Temporizador de Cerrar	T_CLOSE	TIMER						
18	Temporizador de Abrir	T_OPEN	TIMER						
19	Variable Auxiliar	close	BOOL						
20	Variable Auxiliar	open	BOOL						
21	Variable Auxiliar	T_AUX	TIMER						
22	Variable Auxiliar	MIN_INI	REAL						
23	Variable Auxiliar	MIN_INCREM	REAL						
24	Variable Auxiliar	MIN_DECREM	REAL						

Tabla 3.9. Fichero de intercambio de bomba dosificadora. (Fuente [9] Propia)

CAMP		CAMP		CAMP	
DPM_01		DPM_02		DPM_03	
E	S	E	S	E	S
AI07		AI223		AI227	
	AO03		AO223		AO227

Figura 3.10. Fichero de intercambio de bomba dosificadora. (Fuente [10] Propia)

Tipos Válvula Reguladora: FCV_01, FCV_02, FCV_03, FCV_04				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Típos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Consigna de Posición	C_POSITION	REAL	1					1
2	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
3	Estado en Automatico	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
4	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
5	Estado en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
6	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
7	Consigna de Posicion en Automatico	C_POSITION_AUTO	REAL			1			
8	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
9	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
10	Orden de Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
11	Orden en Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
12	Orden de Fuera de Servicio	C_RESET	BOOL	1					1
13	Señal de Salida de Posición	YPOSITION	REAL			1			
14	Temporizador de Cerrar	T_CLOSE	TIMER						
15	Temporizador de Abrir	T_OPEN	TIMER						
16	Variable Auxiliar	T_AUX	TIMER						
17	Variable Auxiliar	close	BOOL						
18	Variable Auxiliar	open	BOOL						
19	Variable Auxiliar	MIN_INI	REAL						
20	Variable Auxiliar	MIN_INCREM	REAL						
21	Variable Auxiliar	MIN_DECREM	REAL						

Tabla 3.11. Fichero de intercambio de válvula reguladora. (Fuente [11] Propia)

Señales de Campo				Señales de Campo			
FCV_01		FCV_02		FCV_03		FCV_04	
E	S	E	S	E	S	E	S
	AO01		AO02		AO211		AO215

Tabla 3.12. Fichero de intercambio de válvula reguladora. (Fuente [12] Propia)

Tipos Motor Simple: VPM_01, SCR_01, M_C_01, M_C_02, M_DES_01, M_DES_02, M_DP_01, M_DP_02, M_M_01, M_M_02, M_ME_01, M_ME_02				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado con Alarmas	E_ALARM	BOOL			1	1		
2	Estado en Automatico	E_AUTOMATIC	BOOL			1	1		
3	Estado en Fuera de Servicio	E_OSERVICE	BOOL			1	1		
4	Estado en Manual	E_MANUAL	BOOL			1	1		
5	Estado en Servicio	E_SERVICE	BOOL			1	1		
6	Estado en Marcha del Compresor	E_RUNNING	BOOL			1	1		
7	Orden de Paro del Compresor en Automatico	C_STOP_AUT	BOOL			1			
8	Orden de Paro del Compresor	C_STOP	BOOL	1					1
9	Orden de Automatico	C_AUTOMATIC	BOOL	1					1
10	Orden Manual	C_MANUAL	BOOL	1					1
11	Orden de Fuera de Servicio	C_OSERVICE	BOOL	1					1
12	Orden de Reset	C_RESET	BOOL	1					1
13	Orden de Servicio	C_SERVICE	BOOL	1					1
14	Orden de Marcha	C_START	BOOL	1					1
15	Orden de Marcha en Automatico	C_START_AUT	BOOL			1			
16	Señal de entrada de Marcha de Motor	XRUNNING	BOOL	1					
17	Señal de salida de Marcha de Motor	YSTART	BOOL			1			
18	Señal de salida de Paro de Motor	YSTOP	BOOL			1			
19	Variable Auxiliar	T_START	TIMER						
20	Variable Auxiliar	T_STOP	TIMER						
21	Variable Auxiliar	start	BOOL						
22	Variable Auxiliar	stop	BOOL						

Tabla 3.13. Fichero de intercambio de motor simple. (Fuente [13] Propia)

Señales de Campo				Señales de Campo			
VPM_01		SCR_01		M_C_01		M_C_02	
E	S	E	S	E	S	E	S
DI2.2		DI2.4		DI26.1		DI26.5	
	DO2.2		DO2.5		DO26.1		DO26.5
	DO2.3		DO2.6		DO26.2		DO26.6
Señales de Campo				Señales de Campo			
M_DES_01		M_DES_02		M_DP_01		M_DP_02	
E	S	E	S	E	S	E	S
DI28.1		DI28.5		DI80.1		DI80.5	
	DO28.1		DO28.5		DO80.1		DO80.5
	DO28.2		DO28.6		DO80.2		DO80.6
Señales de Campo				Señales de Campo			
M_M_01		M_M_02		M_ME_01		M_ME_02	
E	S	E	S	E	S	E	S
DI60.1		DI60.5		DI70.1		DI70.5	
	DO60.1		DO60.5		DO70.1		DO70.5
	DO60.2		DO60.6		DO70.2		DO70.6

Tabla 3.14. Fichero de intercambio de motor simple. (Fuente [14] Propia)

Tipos Medidor: FIT_01, FIT_02, FIT_03, FIT_04, FIT_05, FIT_06, LIT_01, LIT_02, LIT_03, LIT_04, LIT_05, LIT_06, LIT_07, OIT_01, CLIT_01				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Mesura	MINS	REAL			1	1		
2	Senyal de Mesura	XMINS	REAL	1					

Tabla 3.15. Fichero de intercambio de medidor. (Fuente [15] Propia)

CAMP FIT_01		CAMP FIT_02		CAMP FIT_03		CAMP FIT_04		CAMP FIT_05	
E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
AI01		AI02		AI10		AI09		AI211	
CAMP FIT_06		CAMP LIT_01		CAMP LIT_02		CAMP LIT_03		CAMP LIT_04	
E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
AI215		AI05		AI08		AI20		AI264	
CAMP LIT_05		CAMP LIT_06		CAMP LIT_07		CAMP OIT_01		CAMP CLIT_01	
E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
AI265		AI262		AI263		AI03		AI300	

Tabla 3.16. Fichero de intercambio de medidor. (Fuente [16] Propia)

Tipos Detector: DG_1, DG_2, DG_3, DG_4, DF_1, DF_2, DF_3, DF_4				PLC			SCADA		
Item	Descripción	Tag señal	Tipos	E	E/S	S	E	E/S	S
1	Estado de Encendido	E_ON	BOOL			1	1		
2	Señal de Entrada de Encendido	XON	BOOL	1					

Tabla 3.17. Fichero de intercambio de detector. (Fuente [17] Propia)

CAMP DG_1		CAMP DG_2		CAMP DG_3		CAMP DG_4	
E	S	E	S	E	S	E	S
D0.0		D0.1		D0.2		D0.3	
CAMP DF_1		CAMP DF_2		CAMP DF_3		CAMP DF_4	
E	S	E	S	E	S	E	S
D0.4		D0.5		D0.6		D0.7	

Tabla 3.18. Fichero de intercambio de detector. (Fuente [18] Propia)

3.7. Programa del controlador

3.7.1. Estructura del programa

La estructura del programa de control lo conforman principalmente 5 carpetas que son las siguientes:

- La carpeta Controller Water_treatment que contiene el programa Controller Tags donde se crean las variables que conectan con el SCADA.
- La carpeta Tasks que contiene la carpeta de control MainTask, que contiene los programas MainProgram y ControlSystems que son para el control de los elementos y control de los sistemas.
- La carpeta Data Types, en el que se etiqueta las variables si son de un determinado tipo elemento o sistema.
- La carpeta Trends, donde se puede observar los datos históricos de variables.
- Y la carpeta I/O Configuration, donde se lleva a cabo la comunicación con el PLC virtual.

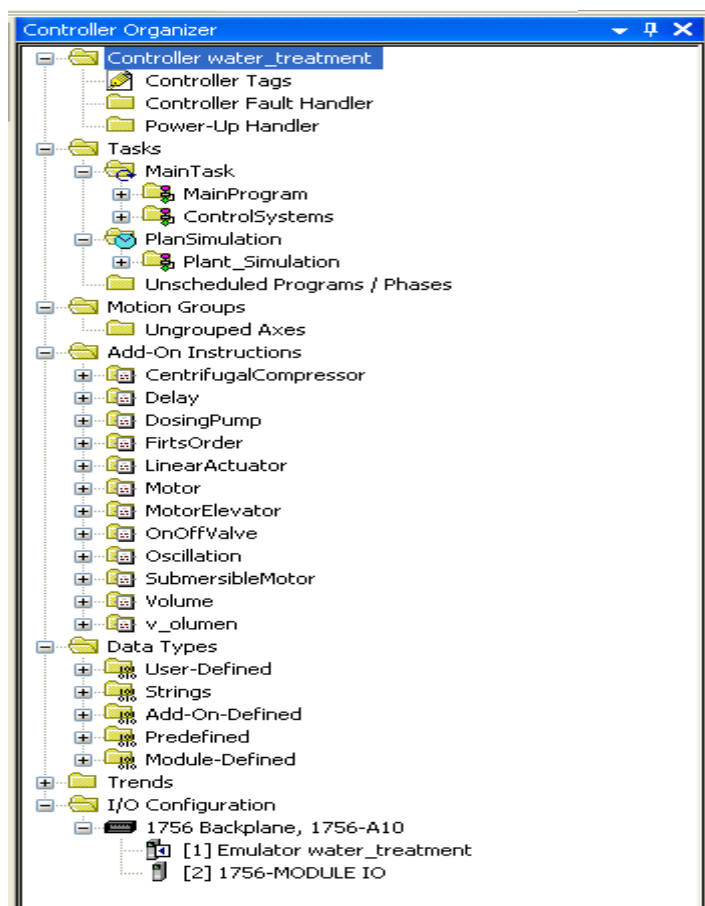


Figura 3.62. Vista de la ventana Controller Organizer del RSLogix 5000 Enterprise. (Fuente [73] Propia)

3.7.2. Definición de los tipos de datos

los tipos de datos (UDT) ayudan a codificar un mismo código para cierto tipo, esto sirve porque al momento de detectar errores, es más fácil ubicarse y solucionarlo, también es útil cuando otro programador externo quiera familiarizarse con el código.

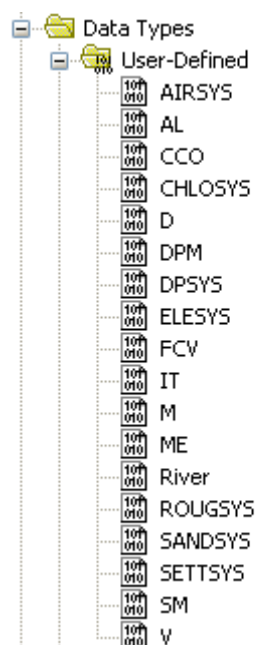


Figura 3.63. Tipos de datos utilizados. (Fuente [74] Propia)

3.7.3. Lógica de control de los elementos

La lógica de control de los elementos lo conforman 8 elementos, los cuales 7 solo se menciona, porque son los que se hace en este trabajo, estos son:

Motor sumergible

En este elemento la lógica consiste primero, para enganchar la señal de salida de marcha de la bomba de aceite, se da la orden de marcha de bomba de aceite, para esto hay dos alternativas, si es en modo manual o automático. En ambos casos tienen que estar activado el estado de servicio, si está en estado fuera de servicio se desengancha la señal de salida de marcha de la bomba de aceite.

Segundo, para enganchar la señal de salida de marcha de circuito en frio, se da la orden de circuito de frio, para esto hay dos alternativas, si es en modo manual o automático. En ambos casos tienen que estar activado el estado de servicio, si está en estado de fuera de servicio se desengancha la señal de salida de marcha de circuito de frio. En el modo automático además de lo mencionado, tiene que estar habilitado el estado de aceite listo.

Tercero, para enganchar la señal de salida de marcha del compresor, se da la orden de marcha del compresor, También hay dos alternativas, si es en modo manual o automático. En ambos casos tienen que estar activado el estado de servicio, si está en estado de fuera de servicio se desengancha la señal de salida de marcha del compresor. Además, en el modo automático tiene que estar habilitado el estado de listo para enganchar la señal de salida. Y para estar

habilitado el estado de listo tiene que estar habilitado a la vez el estado de aceite listo y circuito frio listo.

El estado de fuera de servicio se habilita con la orden de paro o la orden de fuera de servicio o el estado de alarma. También se contabiliza las horas que está en marcha el compresor si no se ha interrumpido. Y se contabiliza las horas totales, aunque se haya interrumpido.

Bomba dosificadora

Hay dos alternativas que son automático o manual, en las dos alternativas se hace la comparación entre el orden del grado de abertura con el ultimo valor de grado de abertura. Esta comparación da el estado de cerrando o abriendo, después empieza a contabilizar un contador de 5 segundos, que una vez terminado el tiempo se verifica si hay un cambio de por lo menos el 2% de la abertura con respecto al anterior, en caso de no haber cambio se activa una alarma, esto se da en modo manual, ya que si es en modo automático se apagaría la bomba y no se podría regular. Esta comparación se deshabilita si existe el estado de fuera de servicio.

El estado de fuera de servicio se habilita con la orden de fuera de servicio o el estado de alarma.

Válvula reguladora

La lógica en la válvula reguladora es la misma que en la bomba dosificadora, con la diferencia que se verifica si hay un cambio del 2% del caudal de un flujo y no de la abertura del actuador.

Válvula todo/nada

En la válvula todo/nada para dar la señal de salida abrir, se da la orden de abrir, para esto hay dos alternativas que son manual o automático, en ambas tienen que estar habilitadas el estado de servicio, si está en el estado fuera de servicio u orden de cerrar o estado de alarma se desengancha la señal de salida abrir.

Para dar la señal de salida cerrar, se da la orden de cerrar, para esto hay dos alternativas que son manual o automático, en ambas tienen que estar habilitadas el estado de servicio, si está en el estado fuera de servicio u orden de abrir o estado de alarma se desengancha la señal de salida cerrar.

Cuando se engancha el estado de abrir o cerrar, se empieza a dar un conteo de 5 segundos, terminado el tiempo se verifica que esté cerrado o abierto según la orden mandada, en caso de no cumplir, se activa el estado de alarma.

Motor

En el motor para dar la señal de salida empezar, hay dos alternativas que son automático o manual, en ambas se necesita que el estado de servicio este activo. La señal de salida empezar se desengancha si se activa el estado de fuera de servicio.

El estado de fuera de servicio se activa cuando se da la orden de fuera de servicio o la orden de paro o el estado de alarma. El estado de fuera de servicio habilita la señal de salida de paro.

Cuando se engancha el estado de empezar o parar, se empieza a contar un temporizador de 5 segundos, terminado el tiempo se verifica que esté en marcha

o parado, según la orden mandada, en caso de no cumplir se activa el estado de alarma.

Motor para elevación

La lógica para el motor para elevación es la misma que el del motor simple con la diferencia que el motor para elevación muestra el valor de su potencia cuando está ejecutando.

Actuador lineal

En el actuador lineal para habilitar la señal de salida extender, se da la orden de extender, para esto existen dos alternativas que son manual o automático, en ambas es necesario que este habilitado el estado de servicio. La señal de salida extender se desengancha si el estado de fuera de servicio está activo.

Para habilitar la señal de salida comprimir, se da la orden de comprimir, en el que hay dos alternativas que son en manual o automático, en ambas es necesario que este habilitado el estado de servicio. Para desenganchar la señal de comprimir se activa el estado de fuera de servicio.

Una vez se enganche el estado de extender o comprimir, se empieza a contar un temporizador de 1,5 segundos. Terminado el temporizador se comprueba si se ha extendido o comprimido, según la orden dada. En caso de no cumplirse se activa el estado de alarma.

El estado de fuera de servicio se activa con el estado de alarma o la orden de fuera de servicio.

3.7.4. Lógica de control de los sistemas

Hay en total 7 sistemas en este proceso de los cuales el sistema de aeración (o tratamiento biológico) pertenece al PBL, por lo que no se menciona. Los sistemas son:

Elevación

Para que empiece el estado de automático de este sistema, todos sus motores para elevación tienen que estar habilitados sus estados de servicio y automático. Una vez esto, se puede dar al botón de empezar, cuando se ejecuta, se hace la comparación de la consigna con el valor del transmisor, si la consigna es menor que el transmisor, los 6 motores para elevación se da la orden de marcha progresivamente. En caso contrario se apaga progresivamente los 6 motores para elevación.

Desbaste

Se tiene que habilitar el estado de servicio y el estado de modo automático de los 4 actuadores lineales de grueso, los 4 actuadores lineales de fino y los 2 motores para la cinta para que el sistema se encuentre en estado automático. Una vez que el sistema esté en modo automático, se puede dar al botón empezar, cuando se está en ejecución, los motores de las cintas se dan en marcha continuamente. Y se hace una comparación entre la consigna y el transmisor. Si la consigna es menor que el transmisor, se da la orden de marcha a los actuadores lineales

progresivamente. En caso contrario, se da la orden de paro progresivamente de los actuadores lineales.

Desarenado

En la etapa de desarenado, hay dos desarenados, por lo que hay dos sistemas. En cada sistema para que este en estado automático, tienen que estar en estado de servicio y automático su actuador lineal, su motor para elevación, su válvula todo/nada y su motor para la rasqueta. Una vez el sistema está en modo automático, se puede dar al botón de empezar, cuando se está ejecutando el sistema, se da la orden de marcha constantemente de su actuador lineal y se hace una comparación entre la consigna y el transmisor, si la consigna es menor que el transmisor, se da en marcha a la vez, su motor para elevación, su motor de la rasqueta y su válvula todo/nada. En caso contrario se da la orden de paro de estos actuadores.

Decantado primario

En la etapa de decantado primario, hay dos decantadores primarios, por lo que son dos sistemas. En cada sistema para que este en modo automático se tiene que habilitar los estados automático y servicio de su válvula reguladora, su motor sumergible, su motor para mezclar, su motor que eleva, su bomba dosificadora y su válvula todo/nada. Una vez que el sistema está en modo automático, se puede dar al botón de empezar, cuando se está ejecutando el sistema, se da la orden de marcha de su motor de la rasqueta, su motor mezclador, su motor mezclador que eleva y su válvula todo/nada constantemente. También se pone en marcha la regulación del flujo de agua entrante, con la ayuda de un PID, mediante su válvula reguladora. una vez el flujo de agua este regulado, se empieza la regulación del nivel de floculo con la ayuda de un PID, mediante su bomba dosificadora. Salta una alarma si pasado un tiempo no hay una cantidad de floculo.

Decantado secundario

El sistema de decantación secundaria está en estado automático cuando su motor de rascador y su válvula todo/nada están en estado de servicio y en estado de automático. Cuando el sistema está en estado automático, se puede dar al botón de empezar. Cuando está en marcha se abre o cierra su válvula todo/nada según su valor de consigna fijado.

Cloración de agua

Para que el sistema de cloración de agua este en modo automático, es necesario que su bomba dosificadora este en modo automático y en modo de servicio. Una vez el sistema está en modo automático, se le puede dar el botón de empezar. cuando se está ejecutando, se empieza a regular la cantidad de cloro que dosifica su bomba dosificadora con la ayuda de un PID. Salta una alarma si pasado un cierto tiempo no hay cierta cantidad de cloro en la mezcla.

3.7.5. Secuencias de control

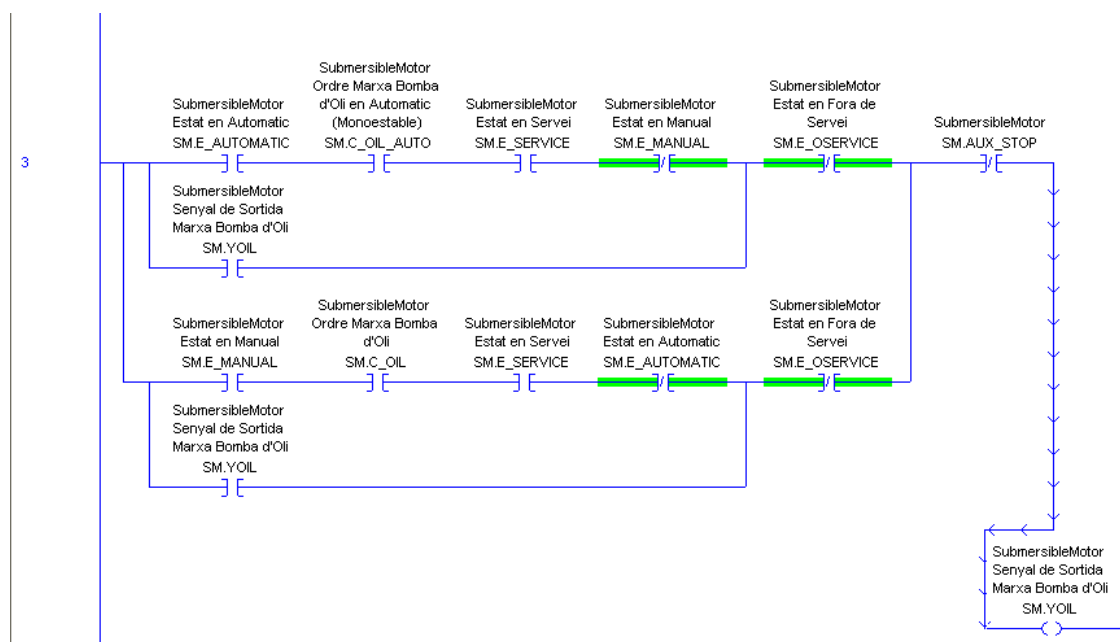


Figura 3.64. Código de control del motor sumergible. (Fuente [75] Propia)

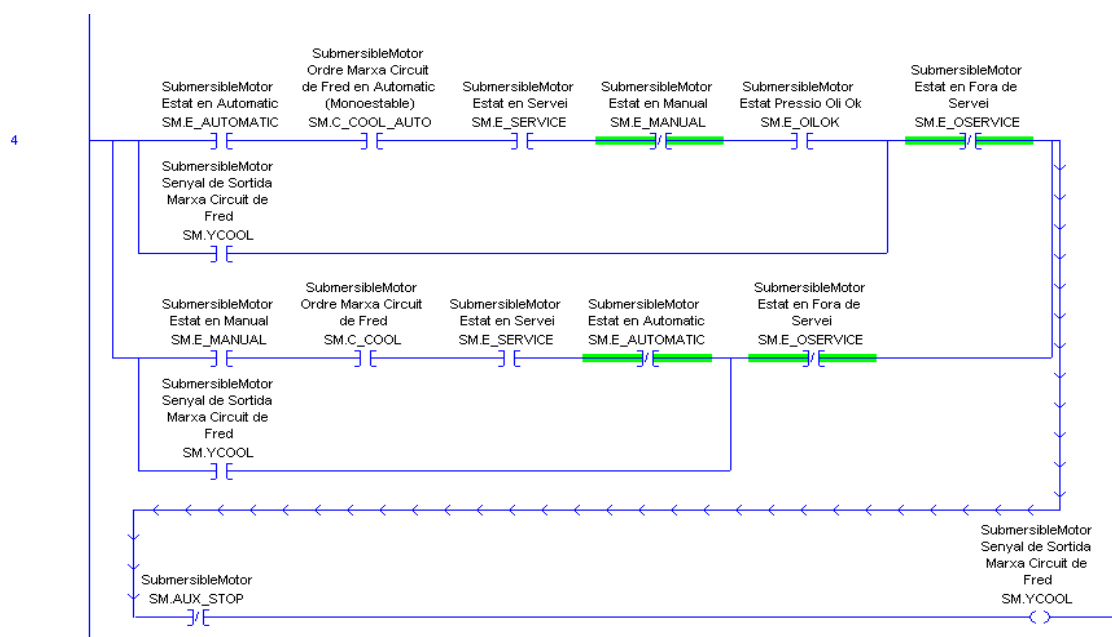


Figura 3.65. Código de control del motor sumergible. (Fuente [76] Propia)

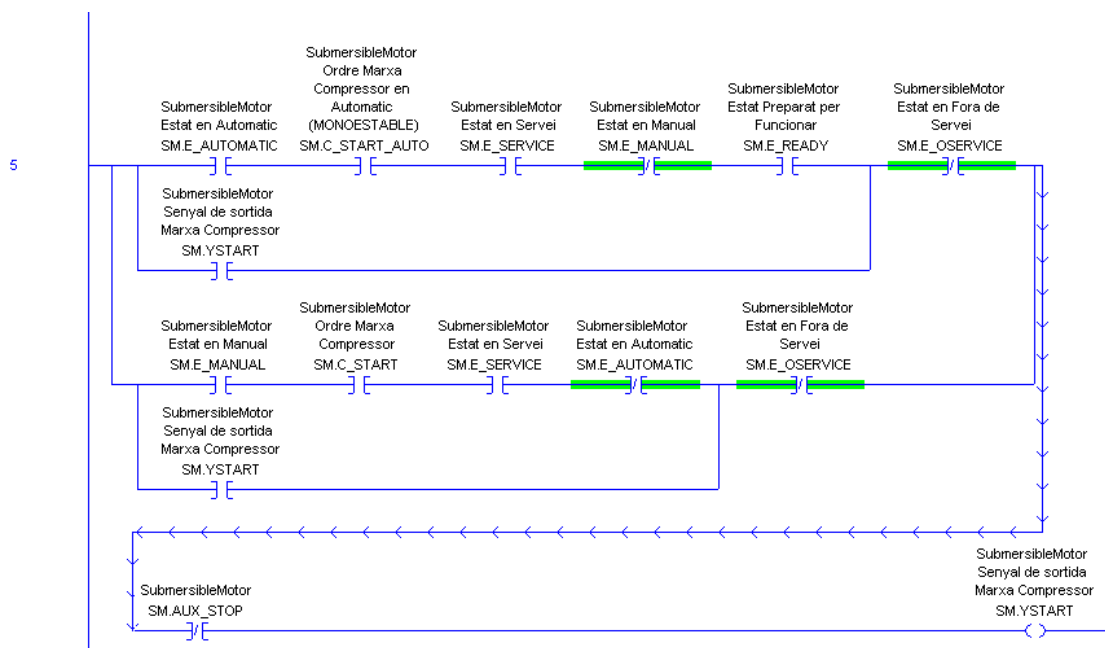


Figura 3.66. Código de control del motor sumergible. (Fuente [77] Propia)

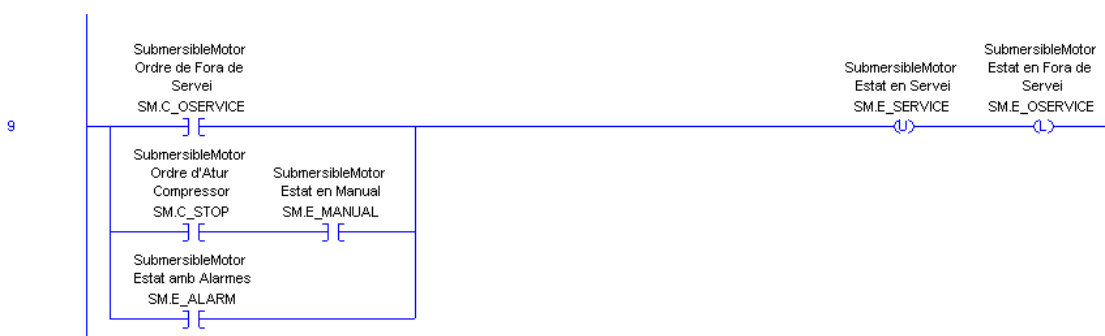


Figura 3.67. Código de control del motor sumergible. (Fuente [78] Propia)

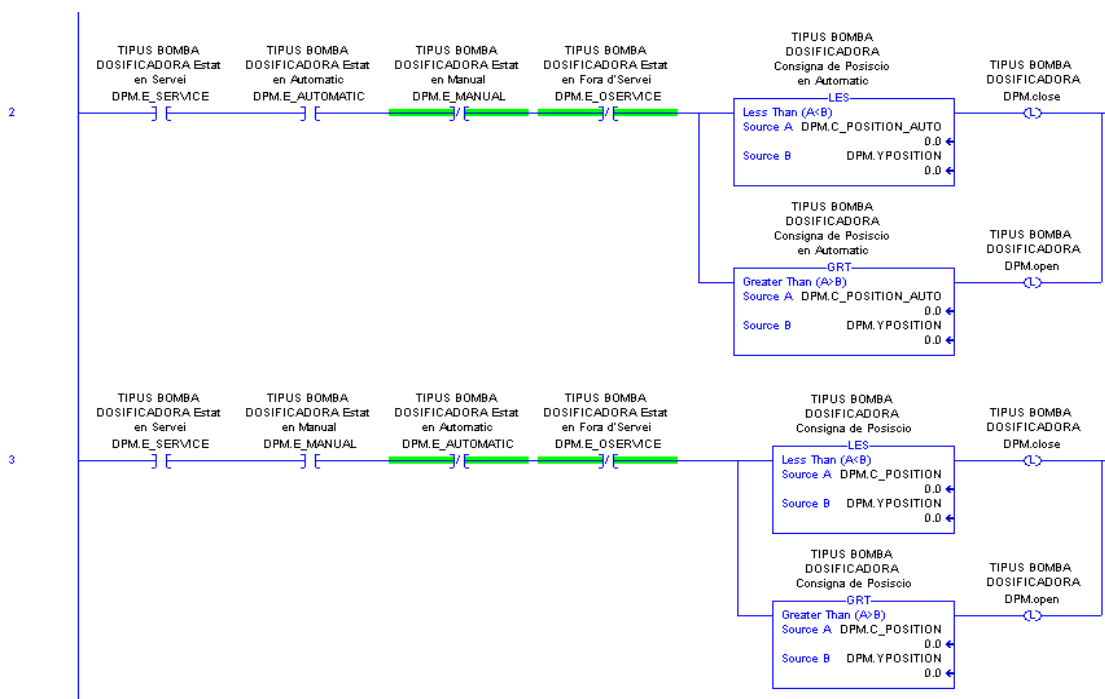


Figura 3.68. Código de control de bomba dosificadora. (Fuente [79] Propia)

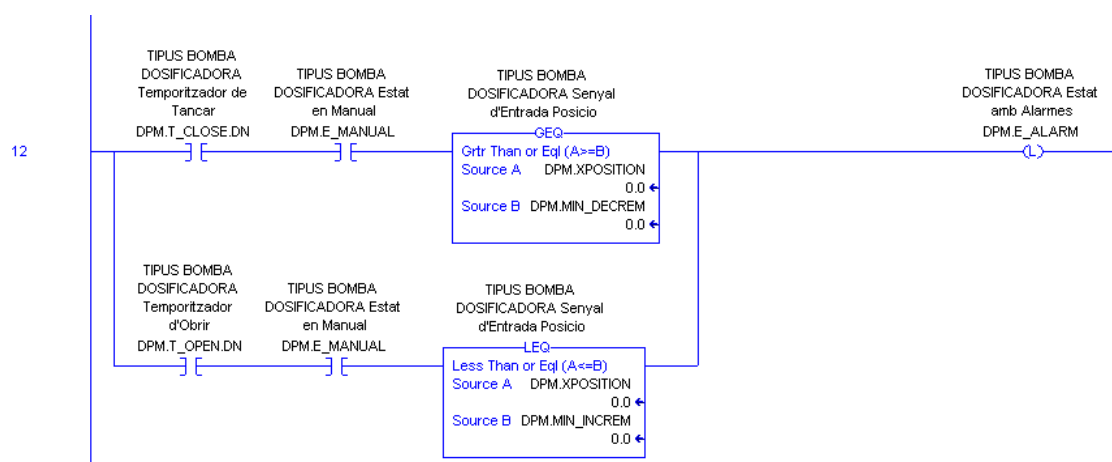


Figura 3.69. Código de control de bomba dosificadora. (Fuente [80] Propia)

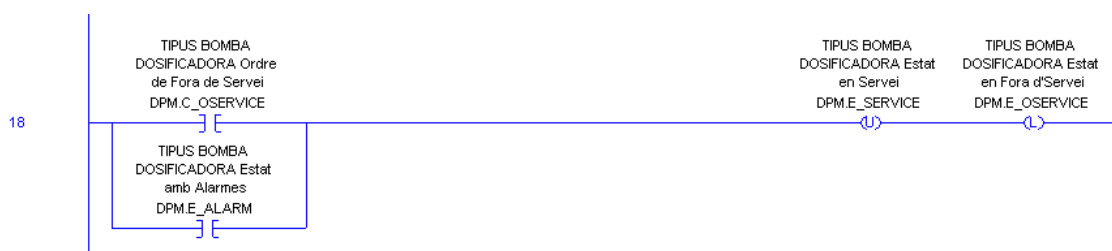


Figura 3.70. Código de control de bomba dosificadora. (Fuente [81] Propia)

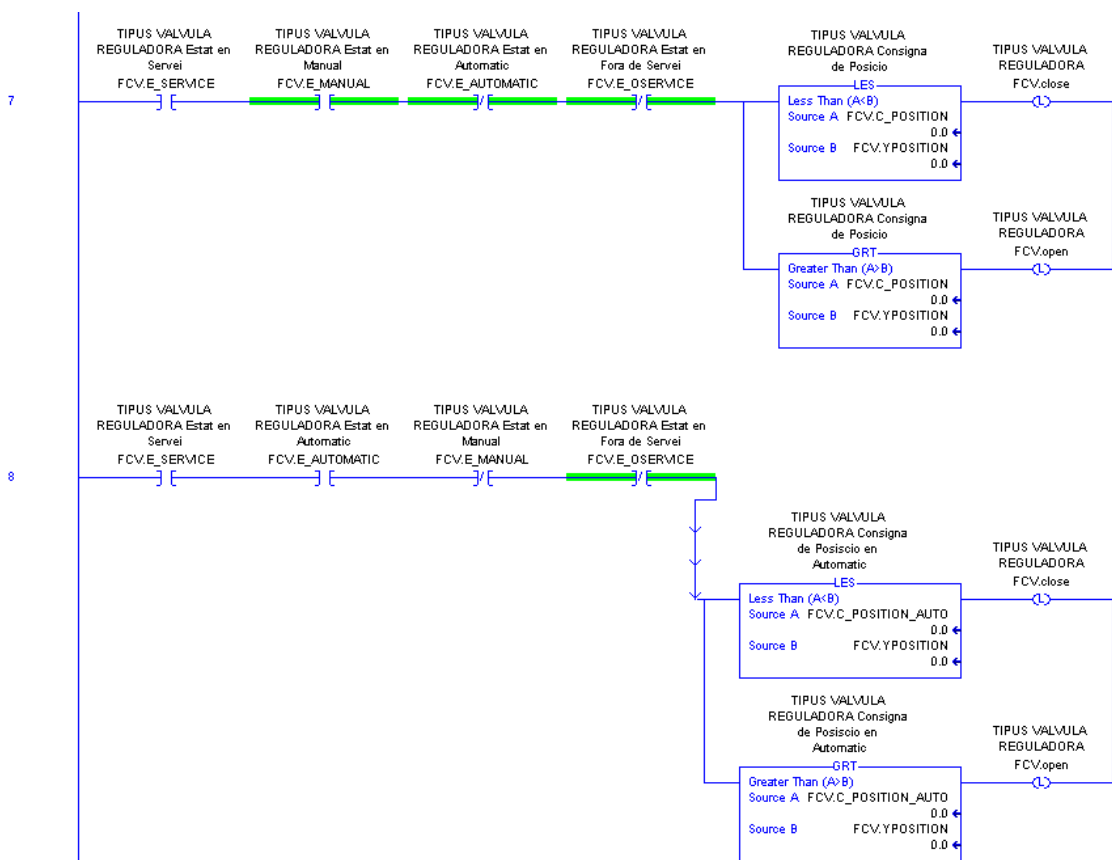


Figura 3.71. Código de control de válvula reguladora. (Fuente [82] Propia)

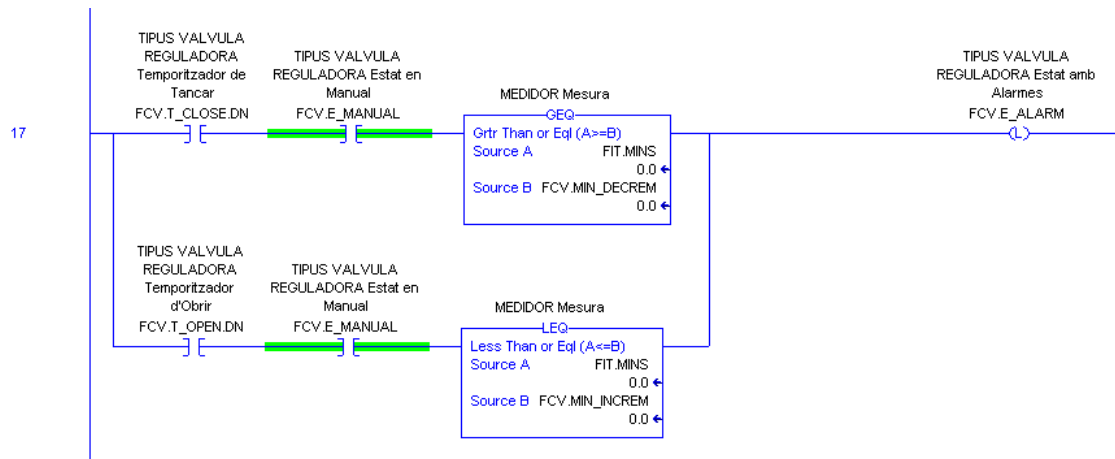


Figura 3.72. C3digo de control de v3lvula reguladora. (Fuente [83] Propia)

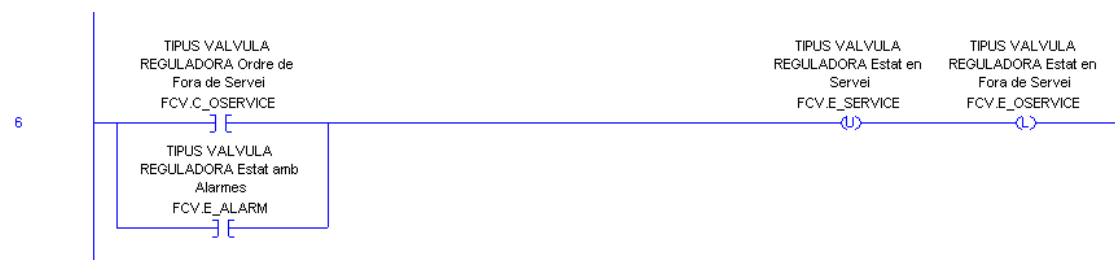


Figura 3.73. C3digo de control de v3lvula reguladora. (Fuente [84] Propia)

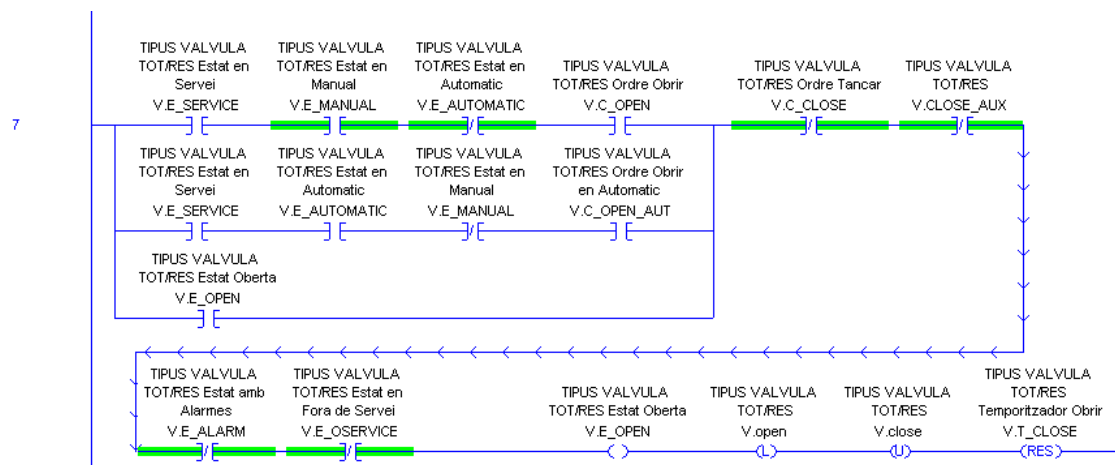


Figura 3.74. C3digo de control de v3lvula todo/nada. (Fuente [85] Propia)

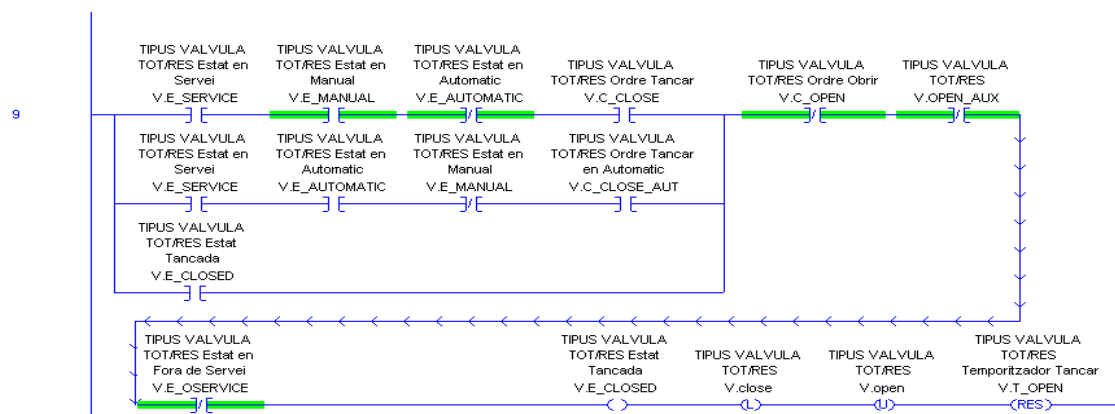


Figura 3.75. C3digo de control de v3lvula todo/nada. (Fuente [86] Propia)

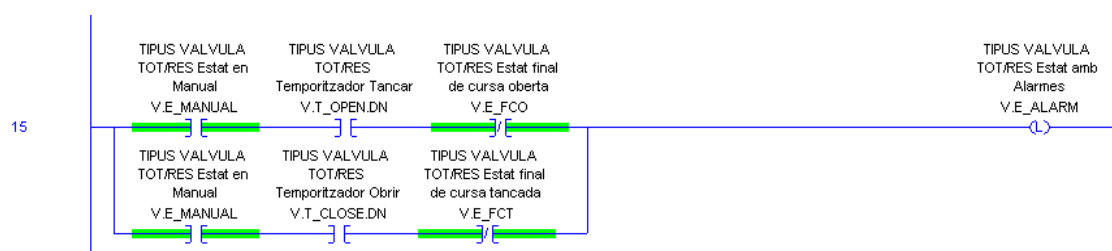


Figura 3.76. Código de control de válvula todo/nada. (Fuente [87] Propia)

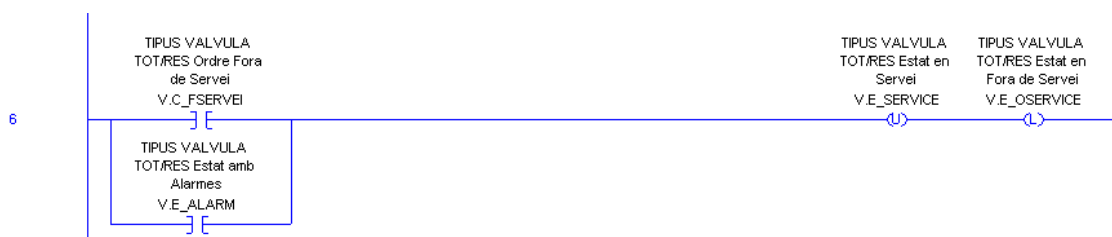


Figura 3.77. Código de control de válvula todo/nada. (Fuente [88] Propia)

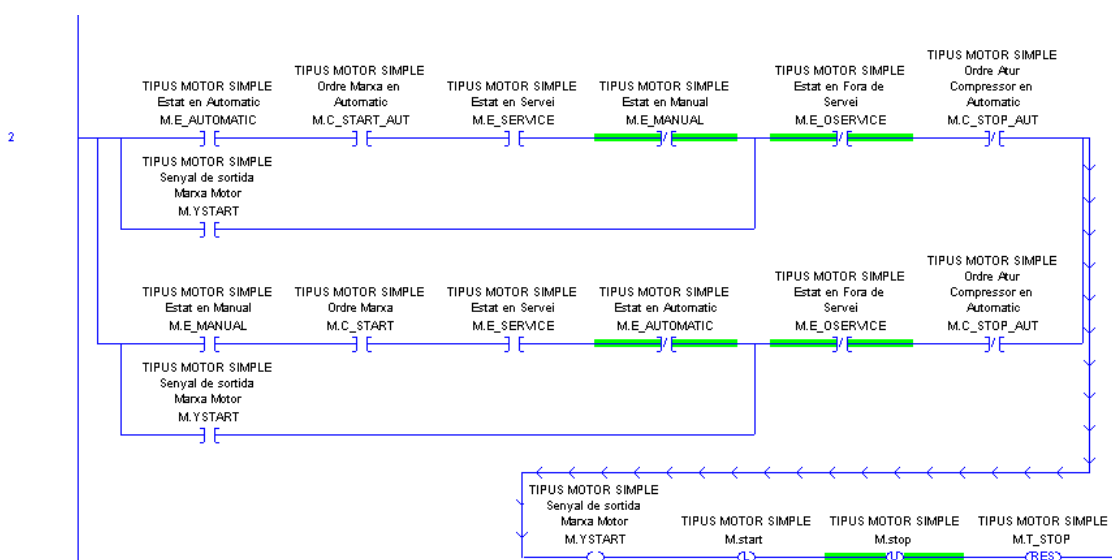


Figura 3.78. Código de control de motor. (Fuente [89] Propia)

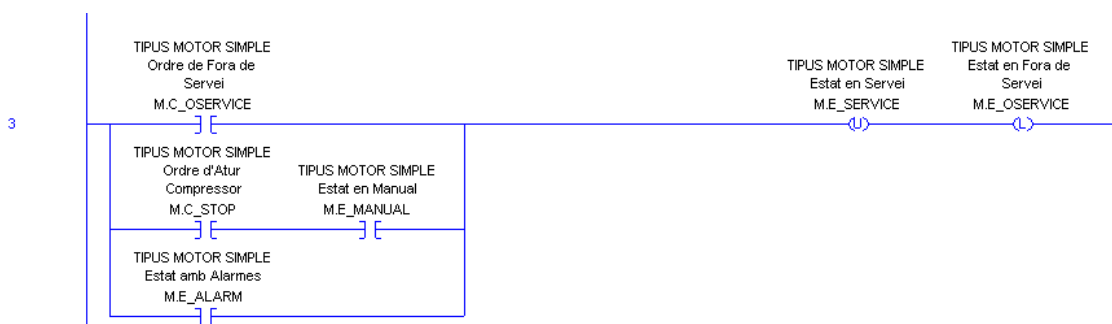


Figura 3.79. Código de control de motor. (Fuente [90] Propia)

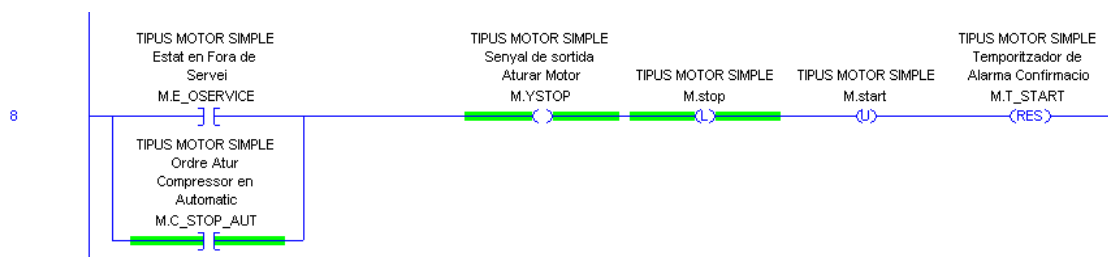


Figura 3.80. Código de control de motor. (Fuente [91] Propia)

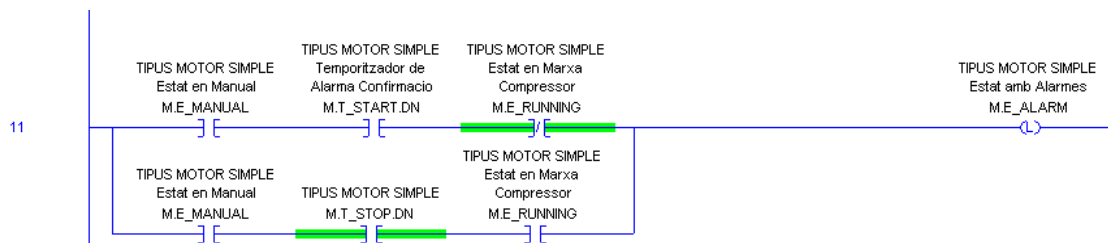


Figura 3.81. Código de control de motor. (Fuente [92] Propia)

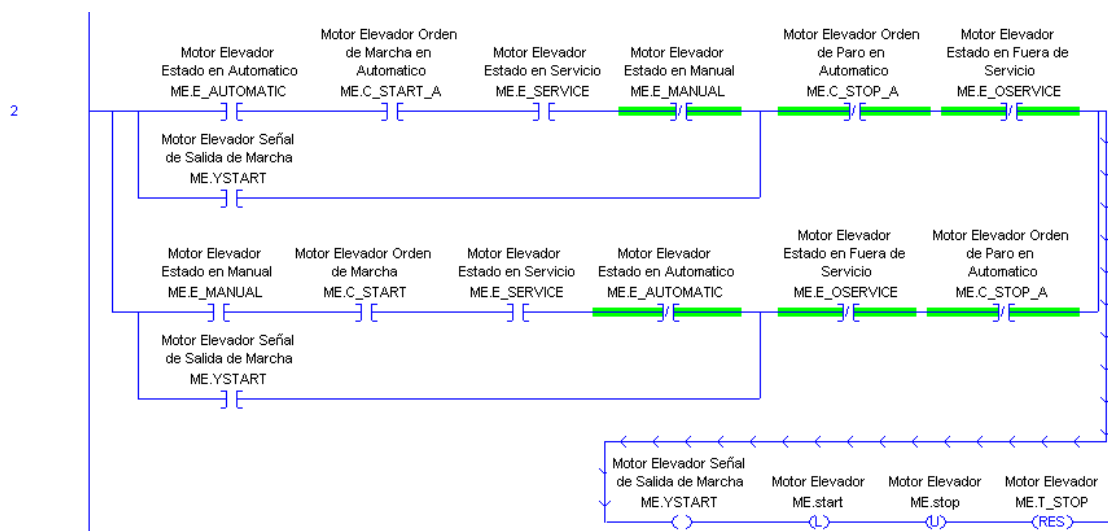


Figura 3.82. Código de control de motor para elevación. (Fuente [93] Propia)

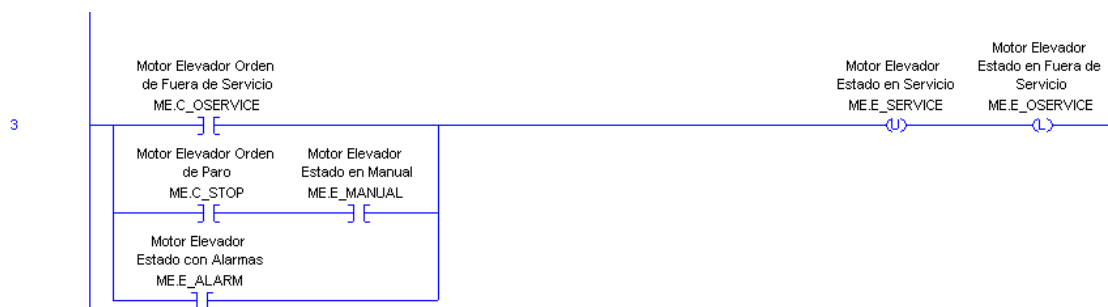


Figura 3.83. Código de control de motor para elevación. (Fuente [94] Propia)

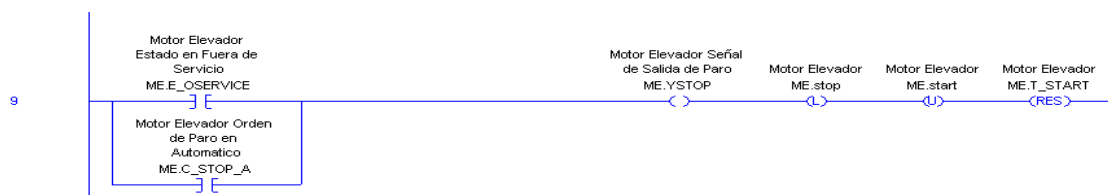


Figura 3.84. Código de control de motor para elevación. (Fuente [95] Propia)

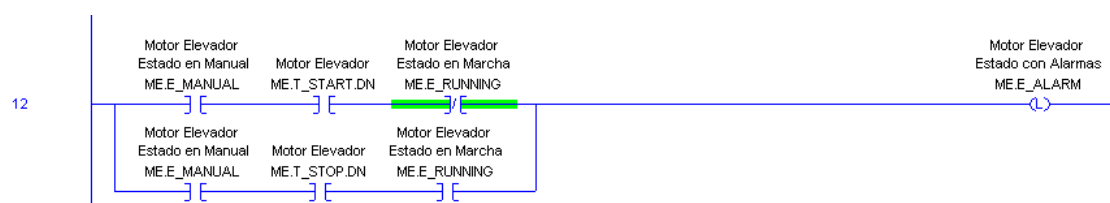


Figura 3.85. Código de control de motor para elevación. (Fuente [96] Propia)

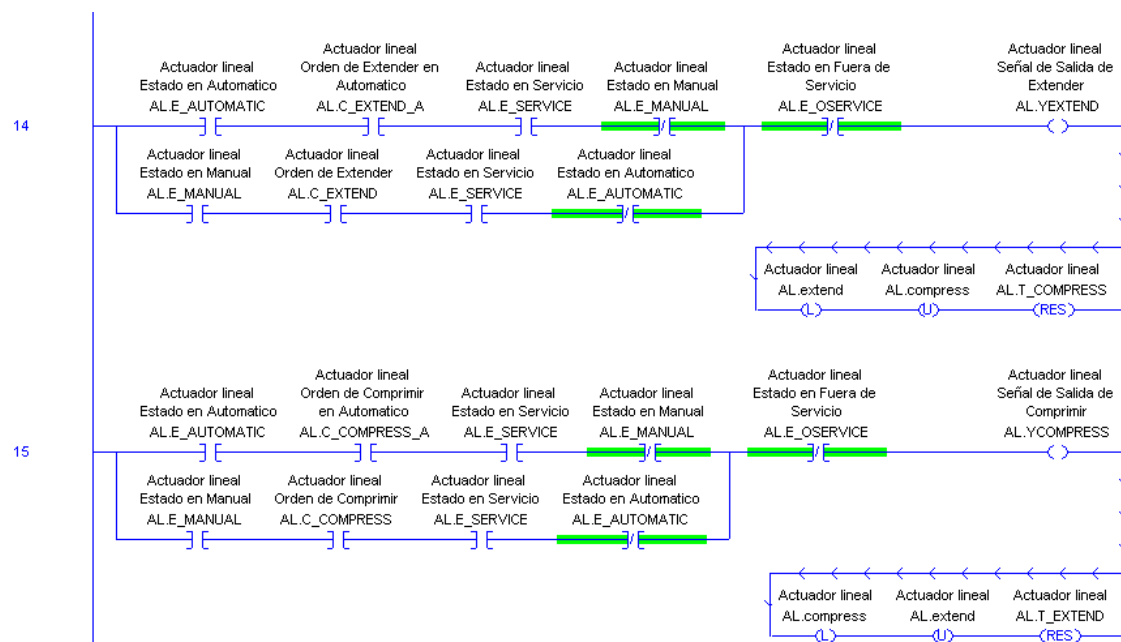


Figura 3.86. Código de control del actuador lineal. (Fuente [97] Propia)

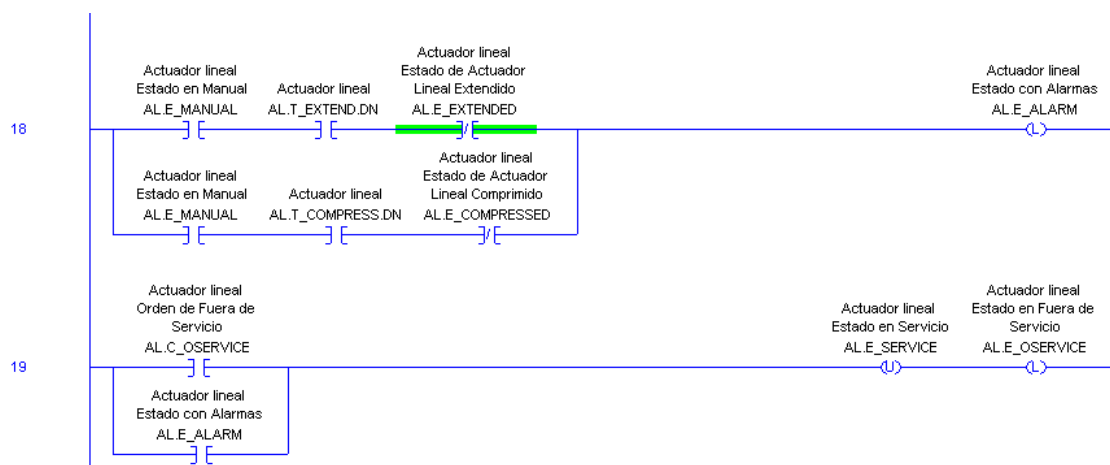


Figura 3.87. Código de control del actuador lineal. (Fuente [98] Propia)

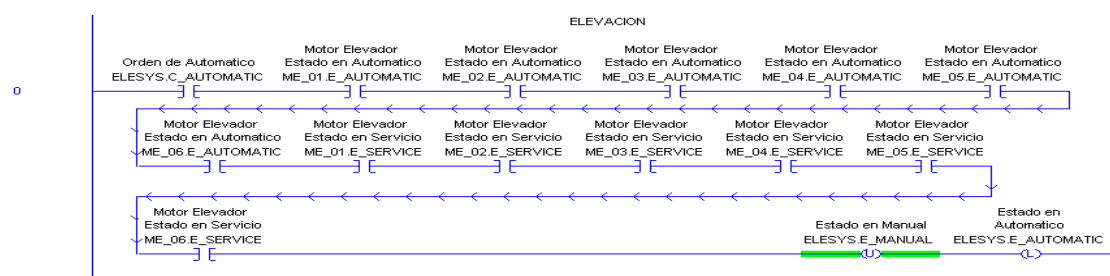


Figura 3.88. Código de control del sistema de elevación. (Fuente [99] Propia)

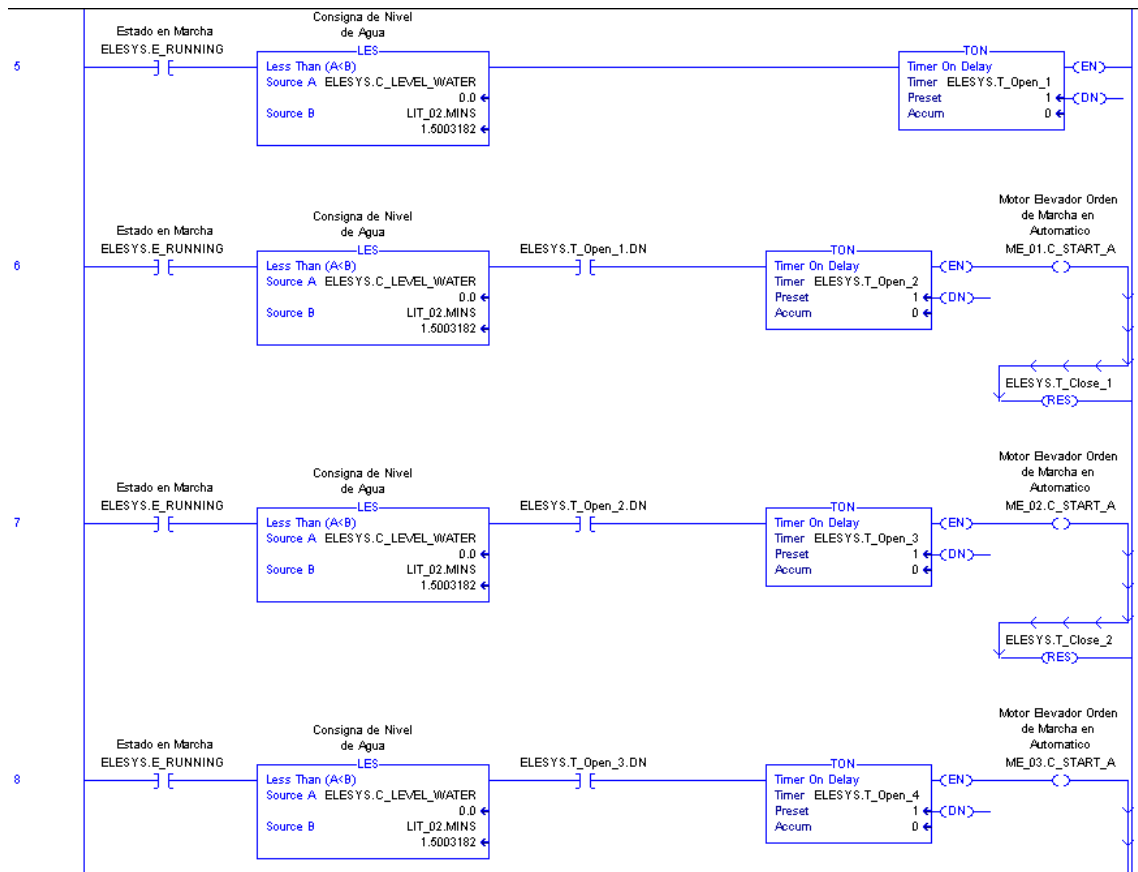


Figura 3.89. Código de control del sistema de elevación. (Fuente [100] Propia)

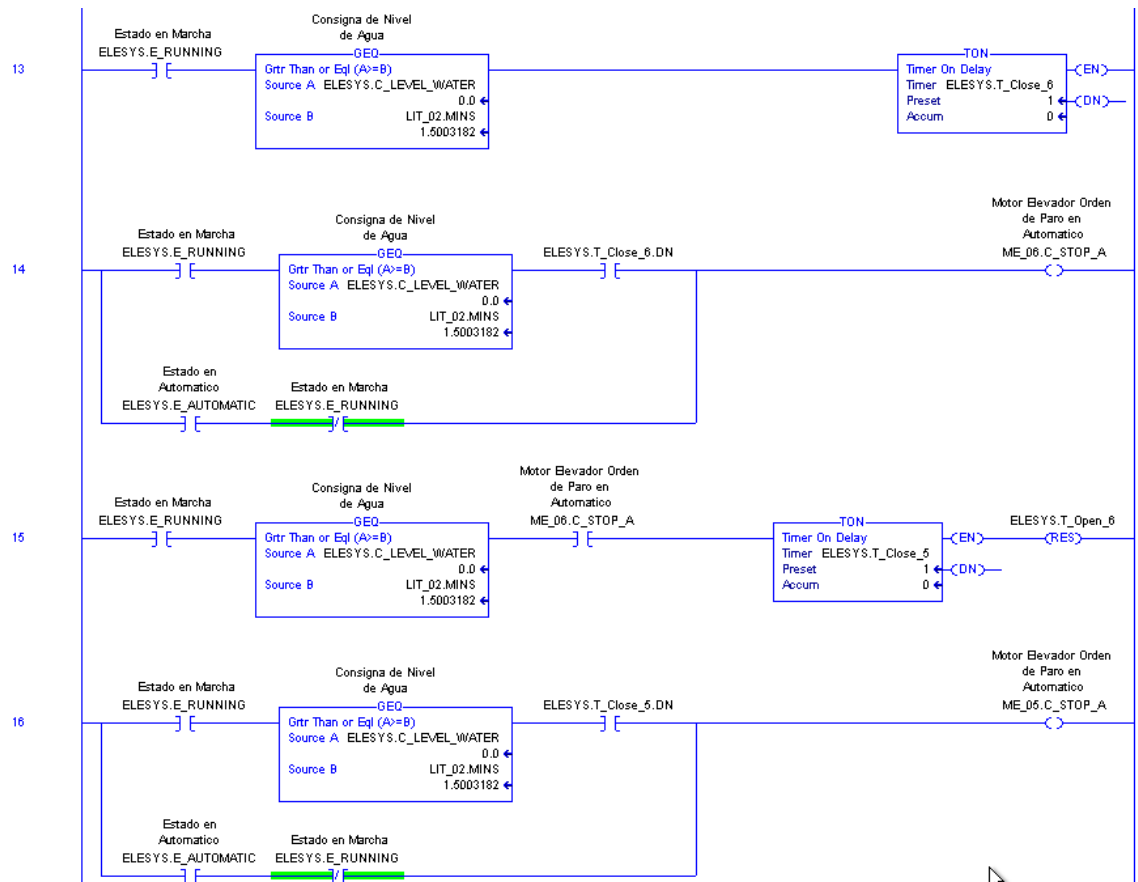


Figura 3.90. Código de control del sistema de elevación. (Fuente [101] Propia)

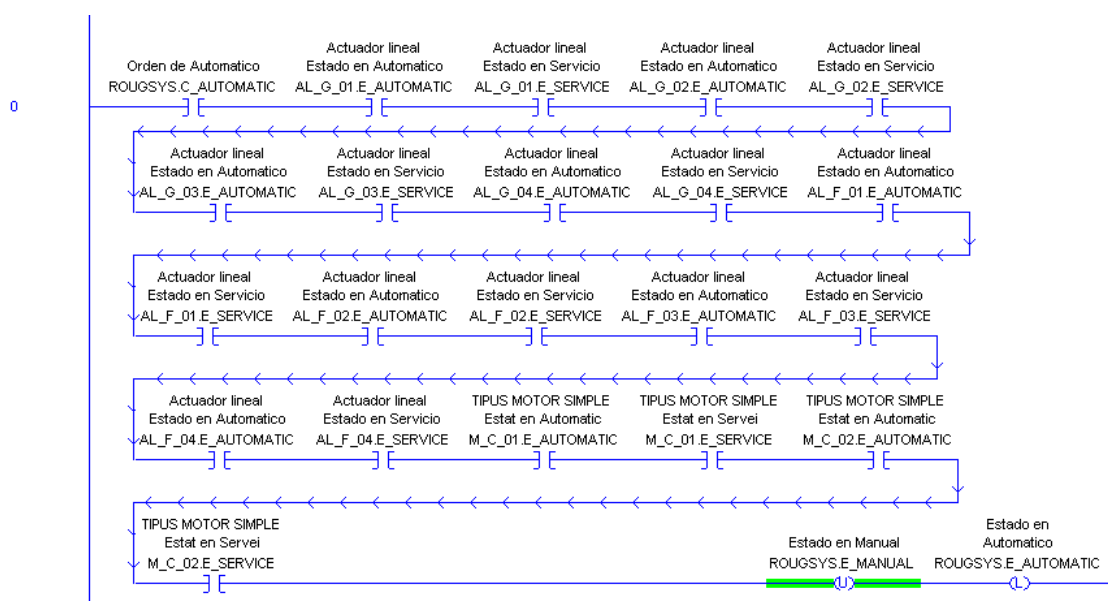


Figura 3.91. Código de control del sistema de desbaste. (Fuente [102] Propia)

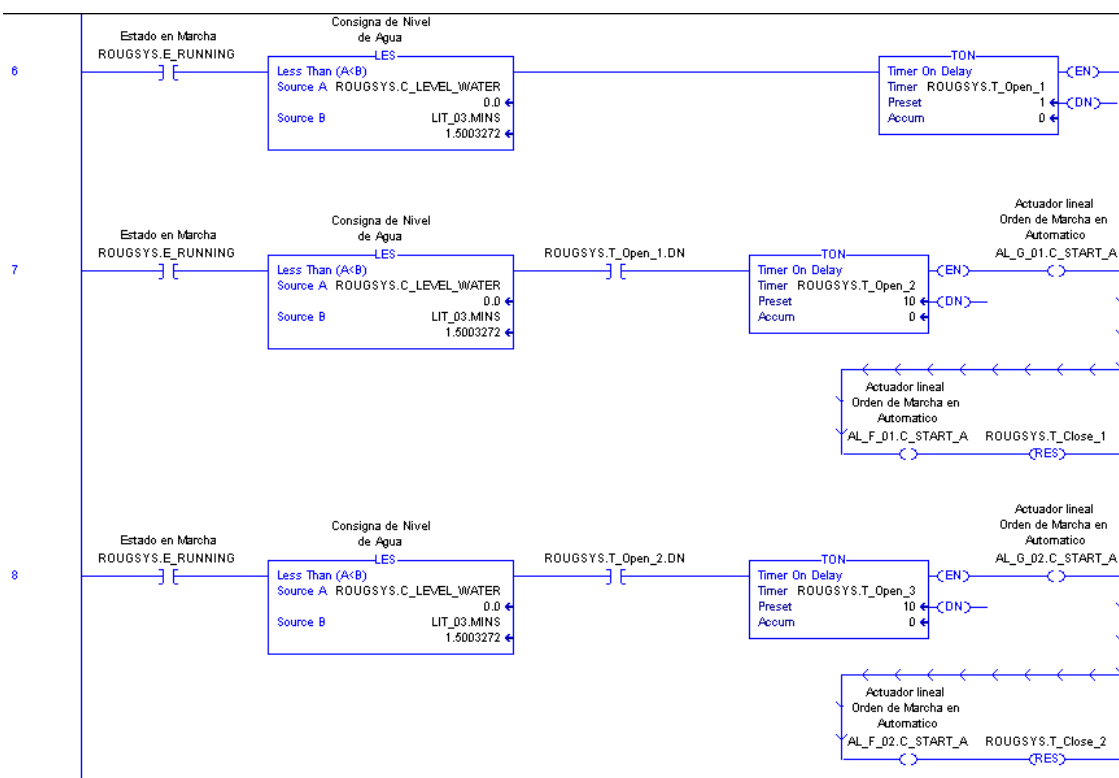


Figura 3.92. Código de control del sistema de desbaste. (Fuente [103] Propia)

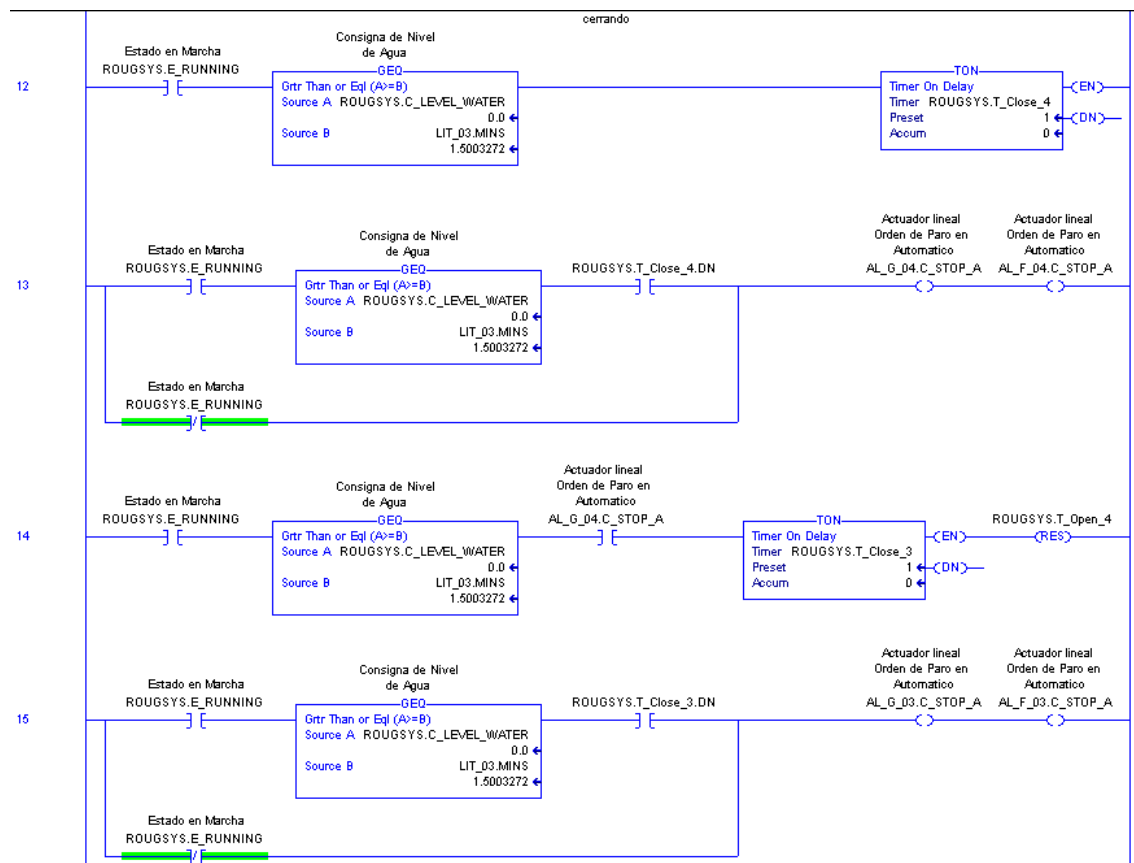


Figura 3.93. Código de control del sistema de desbaste. (Fuente [104] Propia)



Figura 3.94. Código de control del sistema de desbaste. (Fuente [105] Propia)

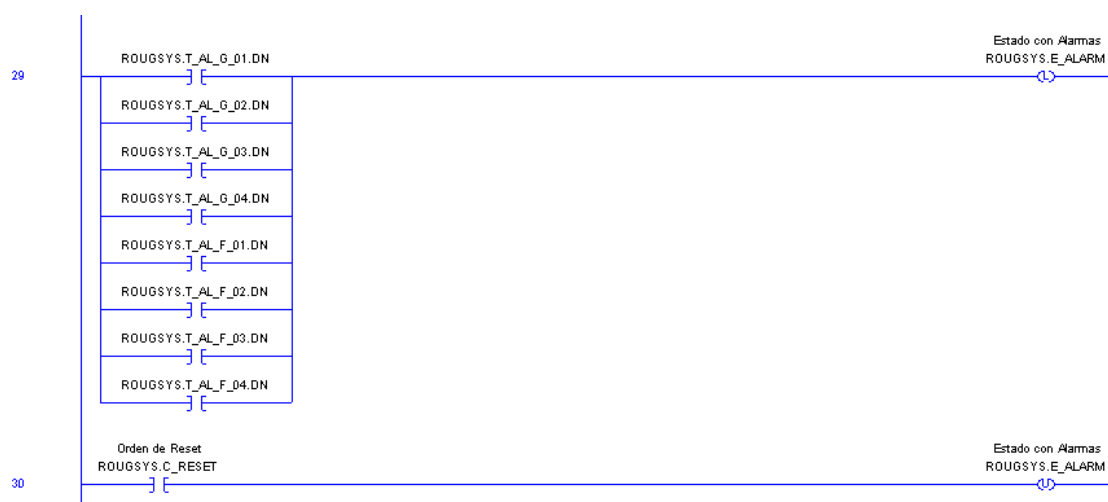


Figura 3.95. Código de control del sistema de desbaste. (Fuente [106] Propia)

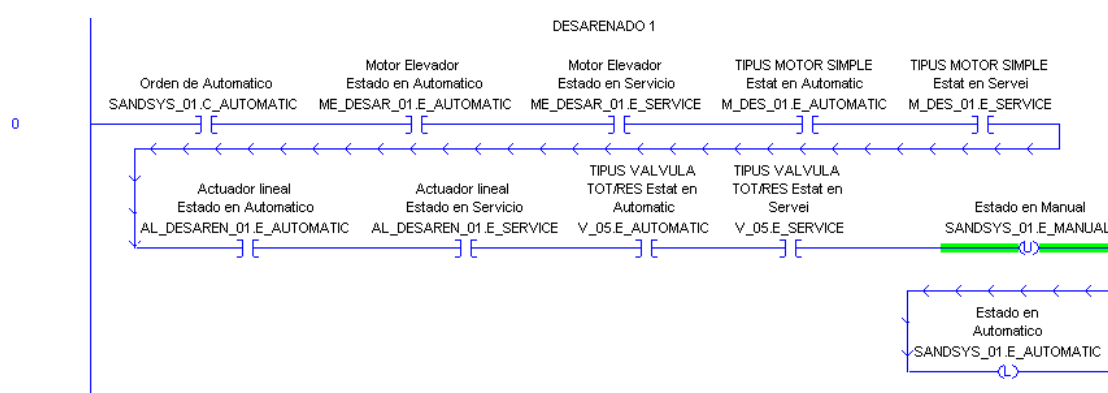


Figura 3.96. Código de control del sistema de desarenado. (Fuente [107] Propia)

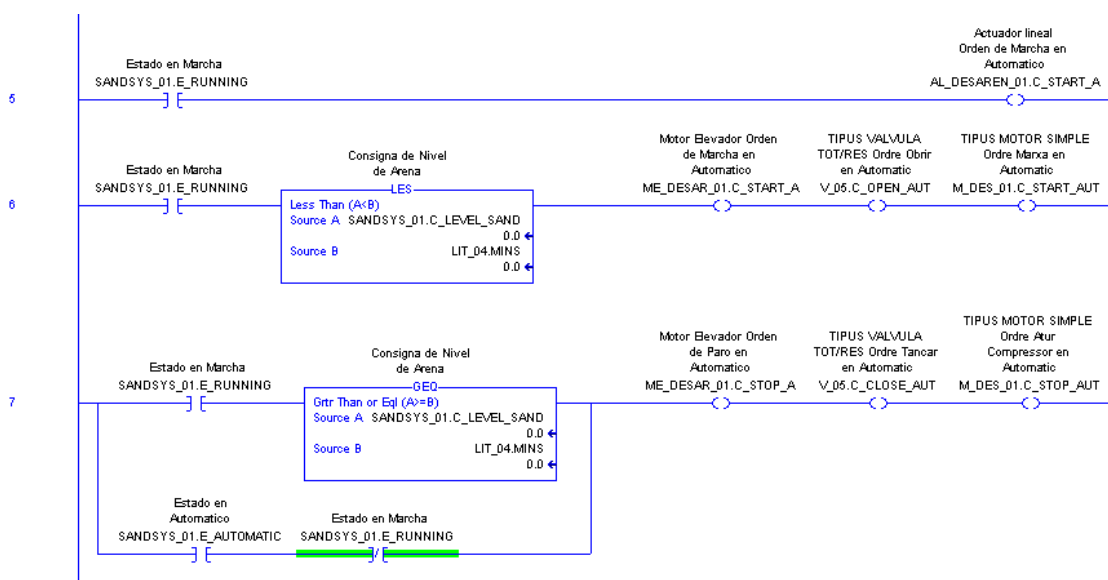


Figura 3.97. Código de control del sistema de desarenado. (Fuente [108] Propia)

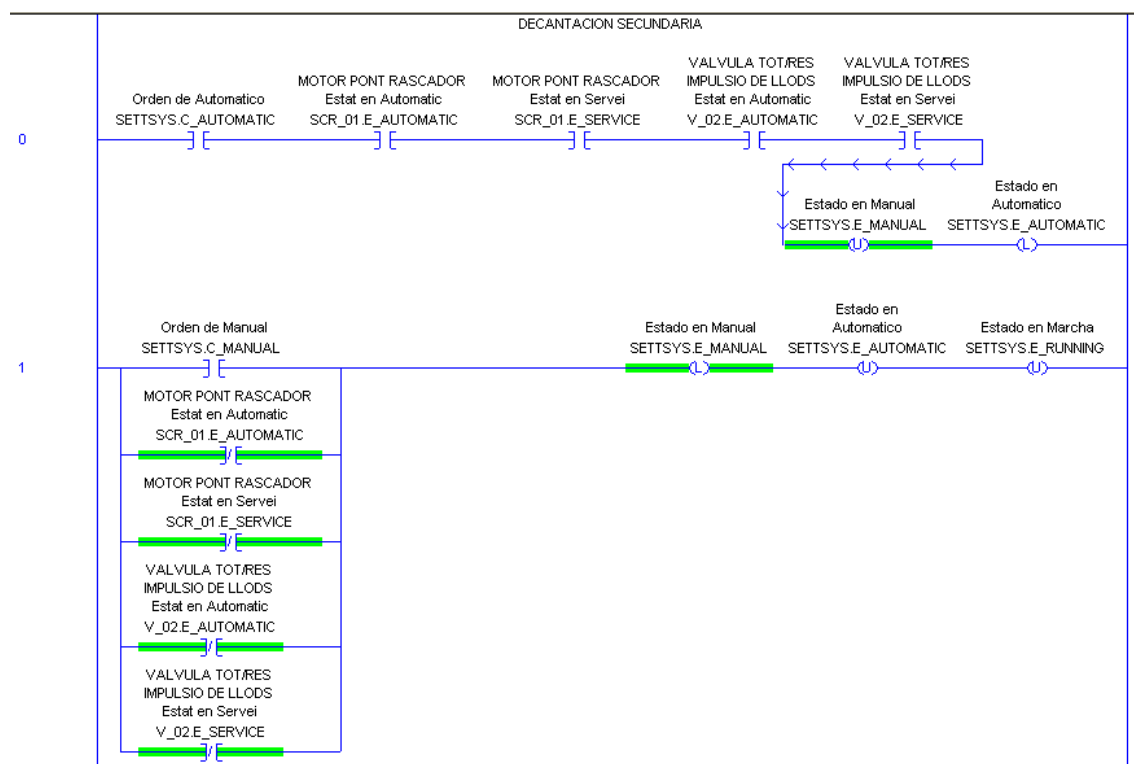


Figura 3.98. Código de control del sistema de decantado secundario. (Fuente [109] Propia)

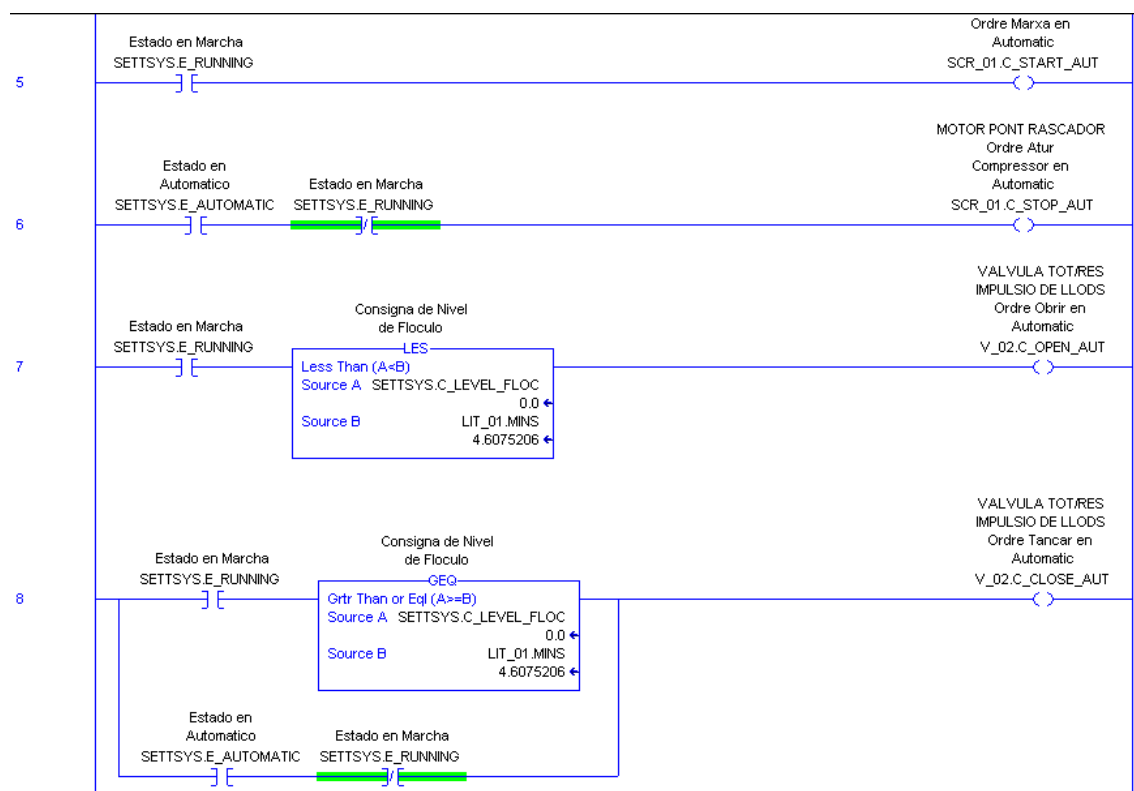


Figura 3.99. Código de control del sistema de decantado secundario. (Fuente [110] Propia)

3.7.6. Regulaciones PID

De la Figura 3.100 a la Figura 3.106, se observa el sistema de decantado primario 1, en el cual del reglón 9 al 14 se muestra el lazo de control mediante PID de la regulación del caudal de agua entrante. Del reglón 15 al 27 se muestra los dos lazos de control mediante PID's que regulan el nivel de floculante. Y del reglón 28 al 35 se muestra, el código de alarma si no hay cierta cantidad de floculante en cierto tiempo.

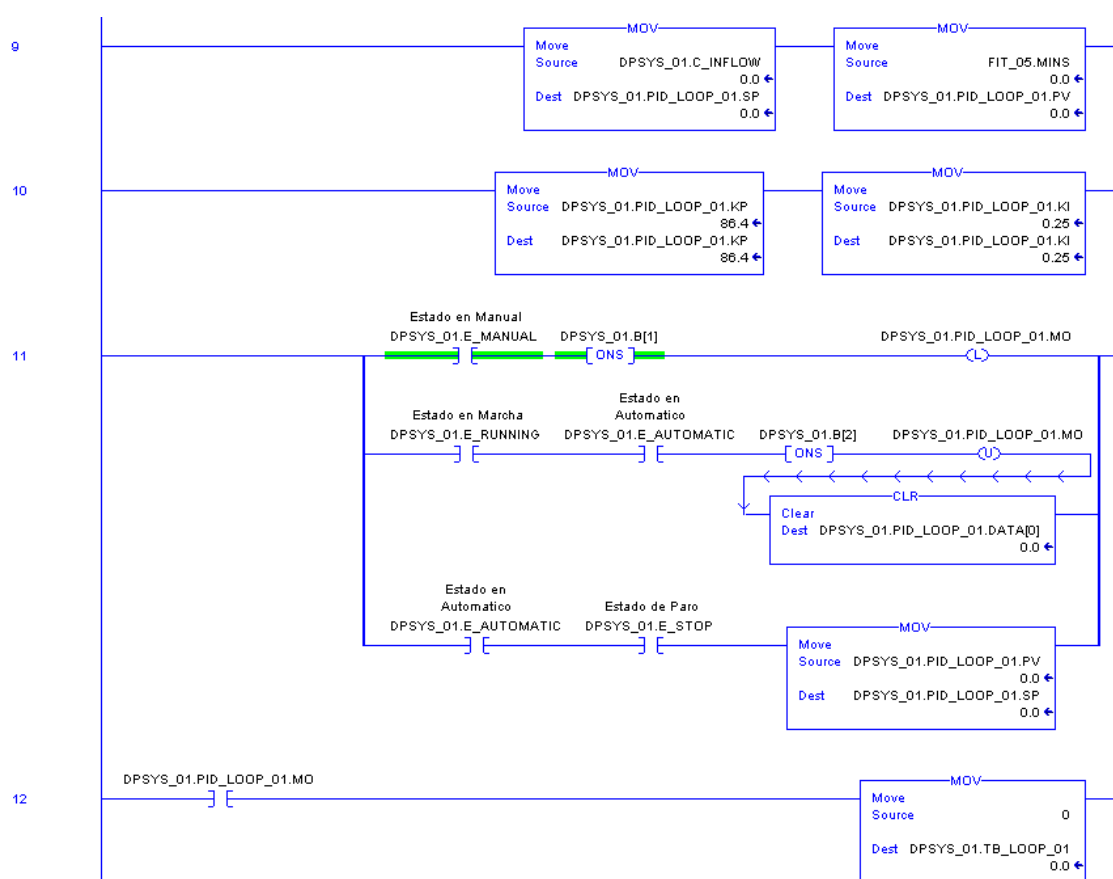


Figura 3.100. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [111] Propia)

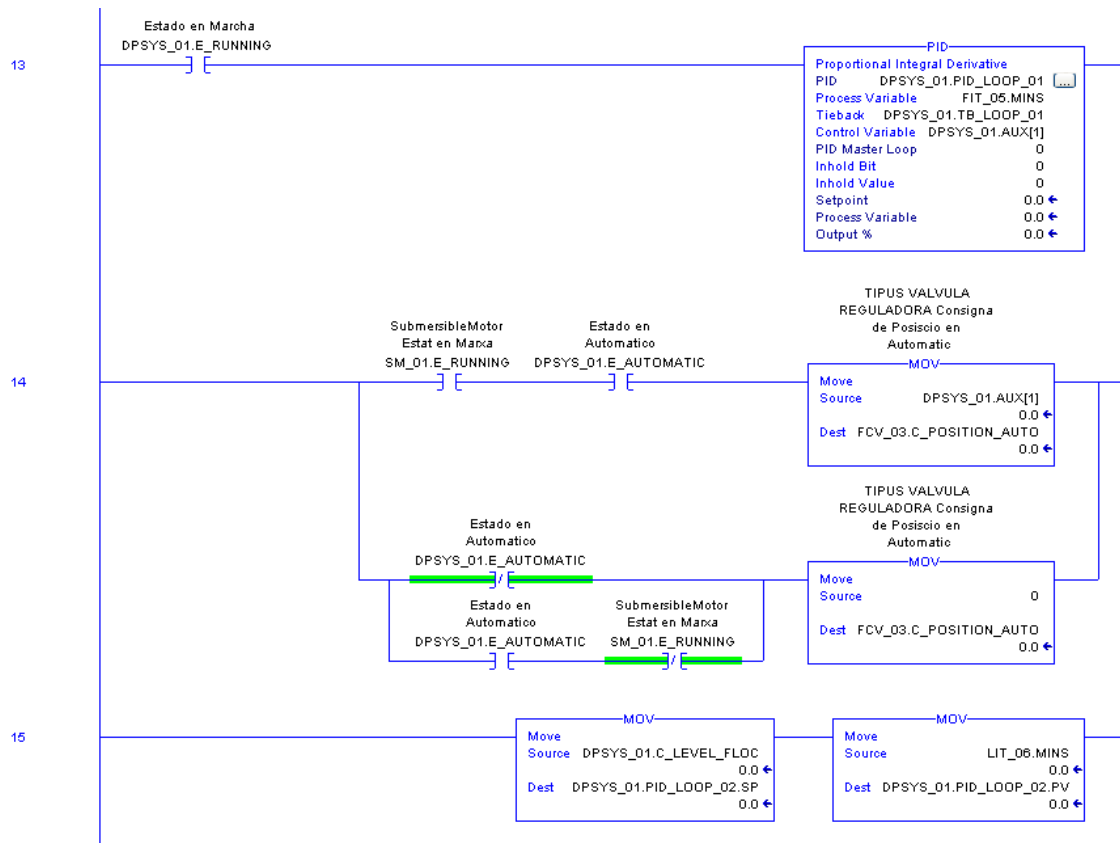


Figura 3.101. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [112] Propia)

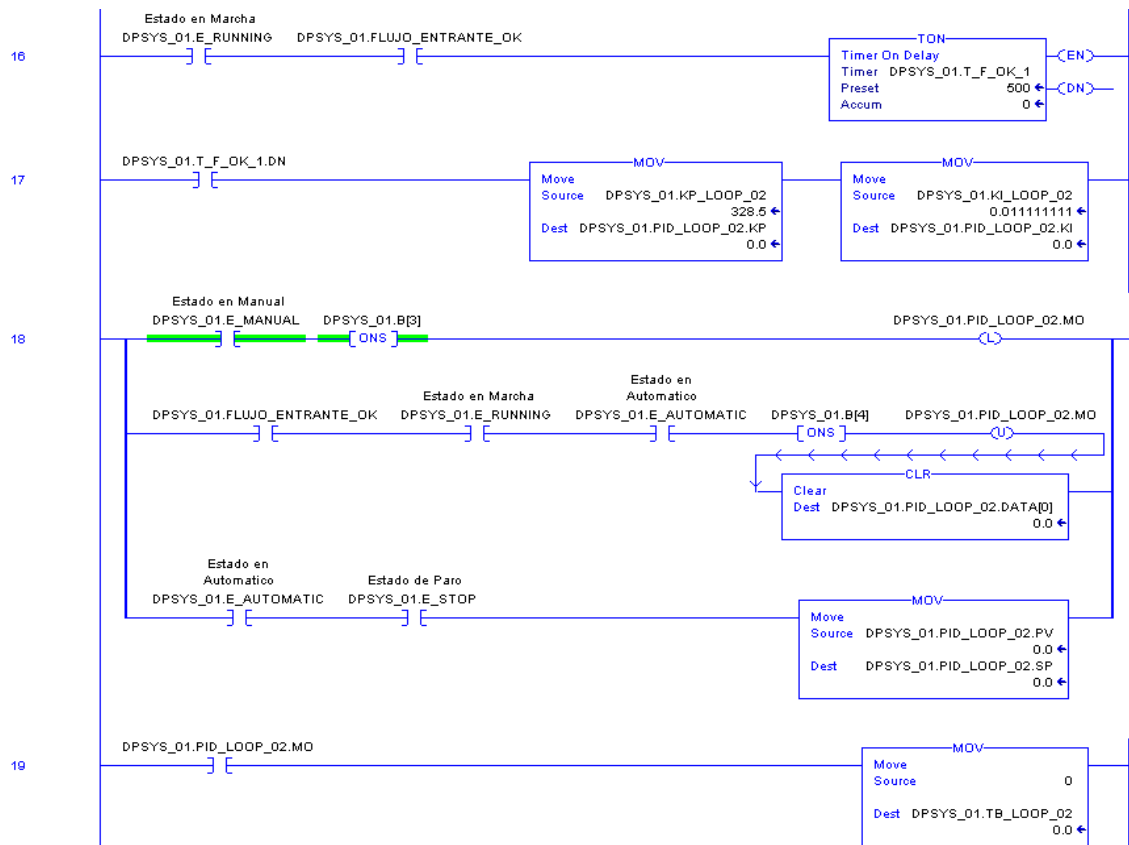


Figura 3.102. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [113] Propia)

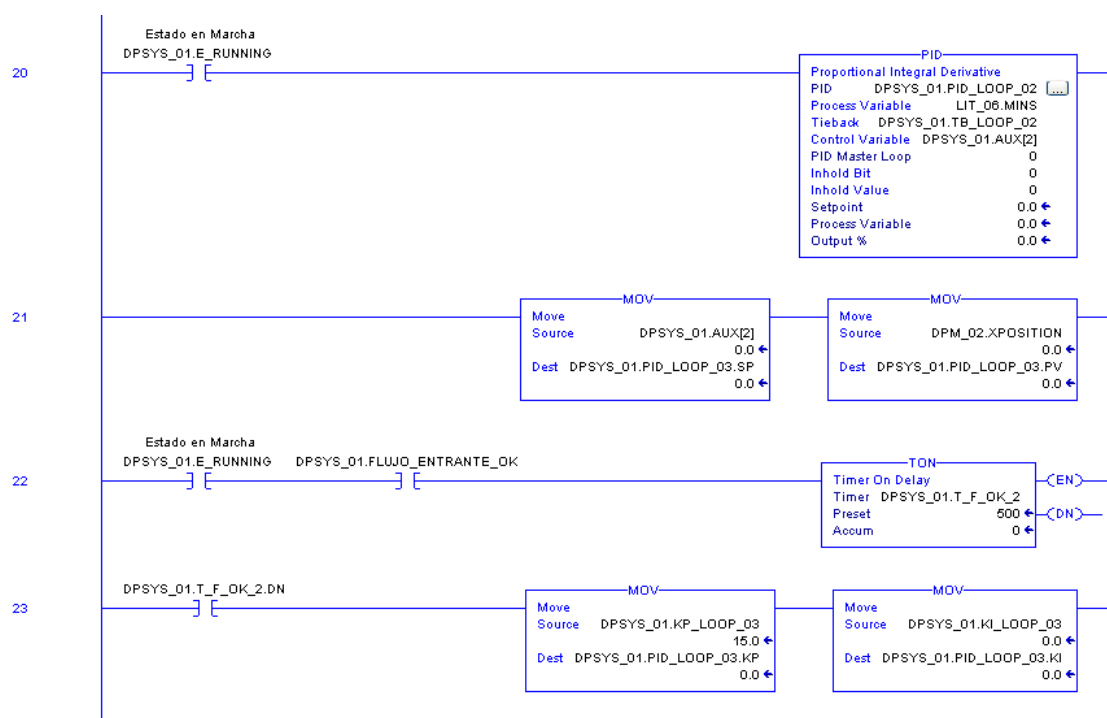


Figura 3.103. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [114] Propia)

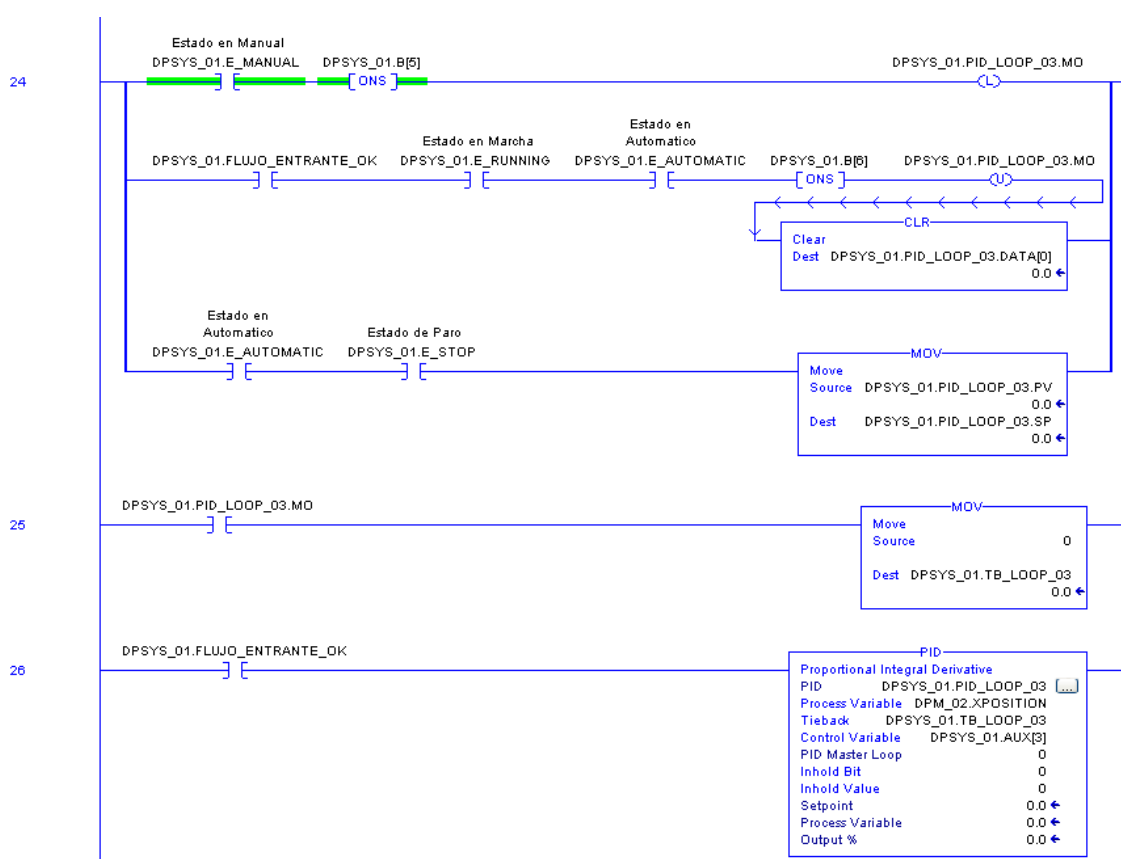


Figura 3.104. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [115] Propia)

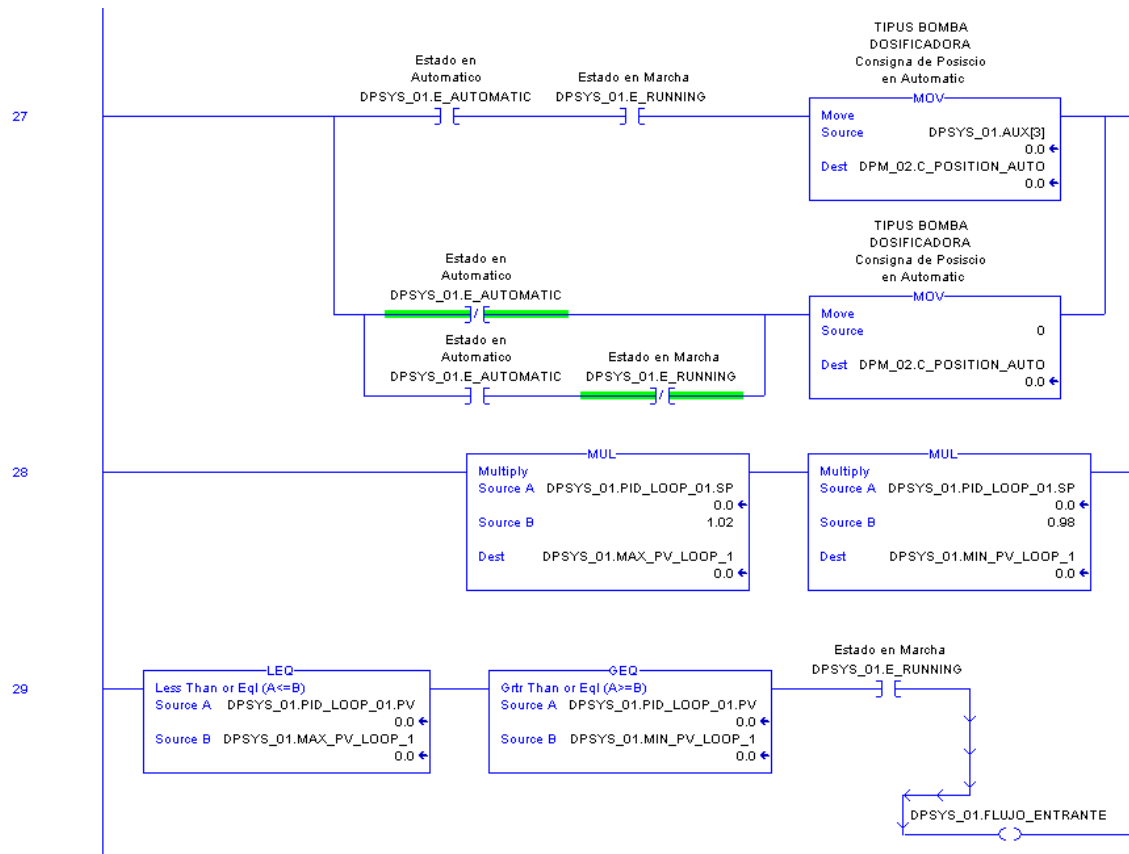


Figura 3.105. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [116] Propia)

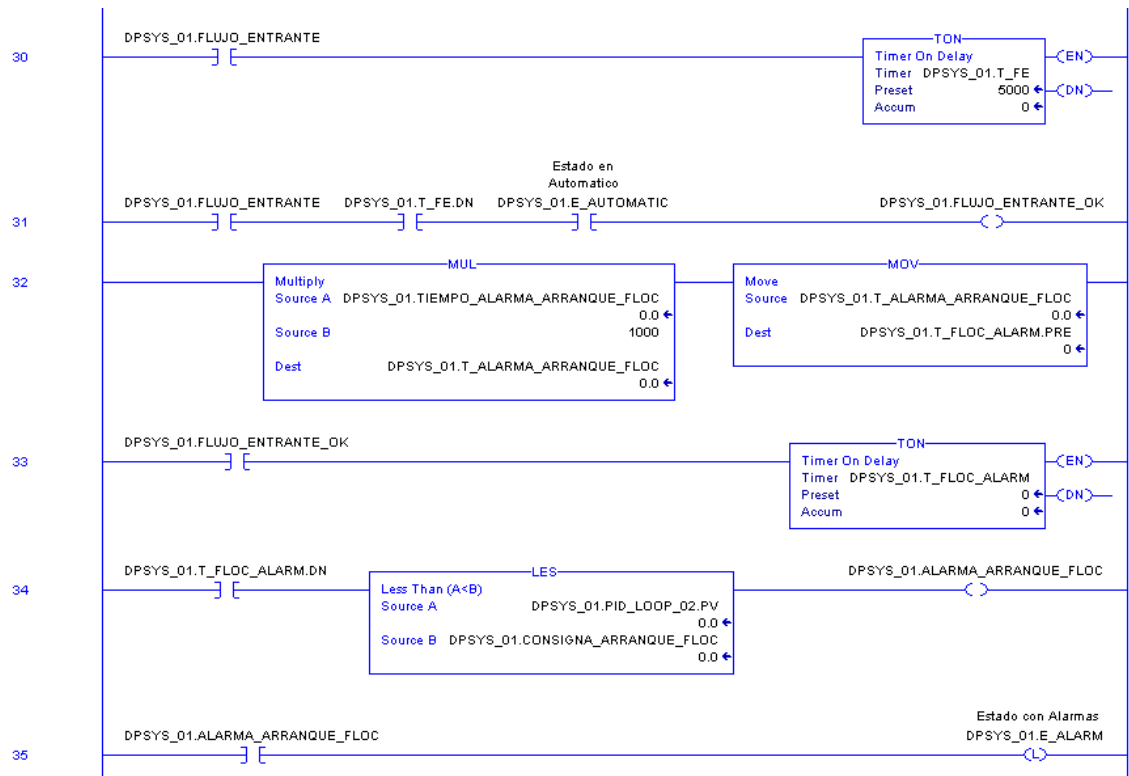


Figura 3.106. Código de control del sistema de decantado primario. (Fuente [117] Propia)

Desde la Figura 3.107 hasta la Figura 3.109, se muestra el lazo de control donde se regula la concentración de cloro. Y del reglón 11 hasta el 14, se muestra el código de alarma si no hay suficiente concentración de cloro en un cierto tiempo.

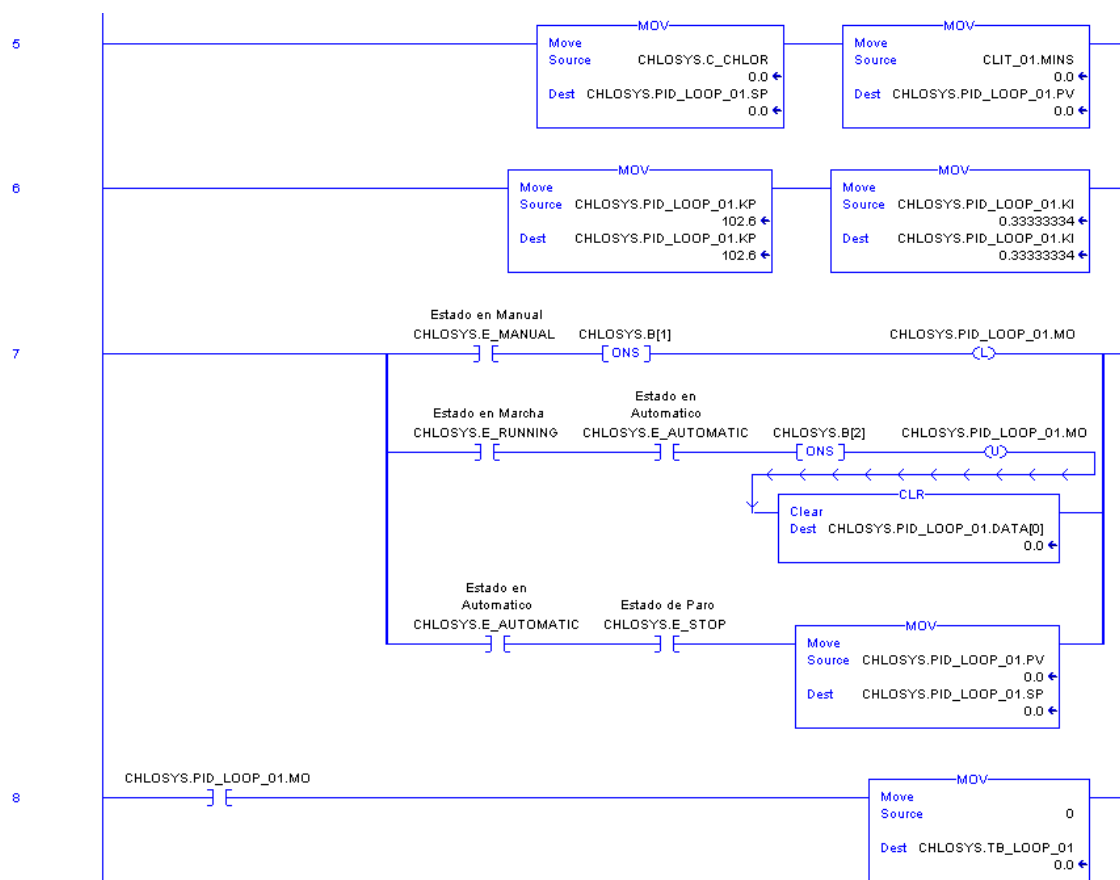


Figura 3.107. Código de control del sistema de cloración de agua. (Fuente [118] Propia)

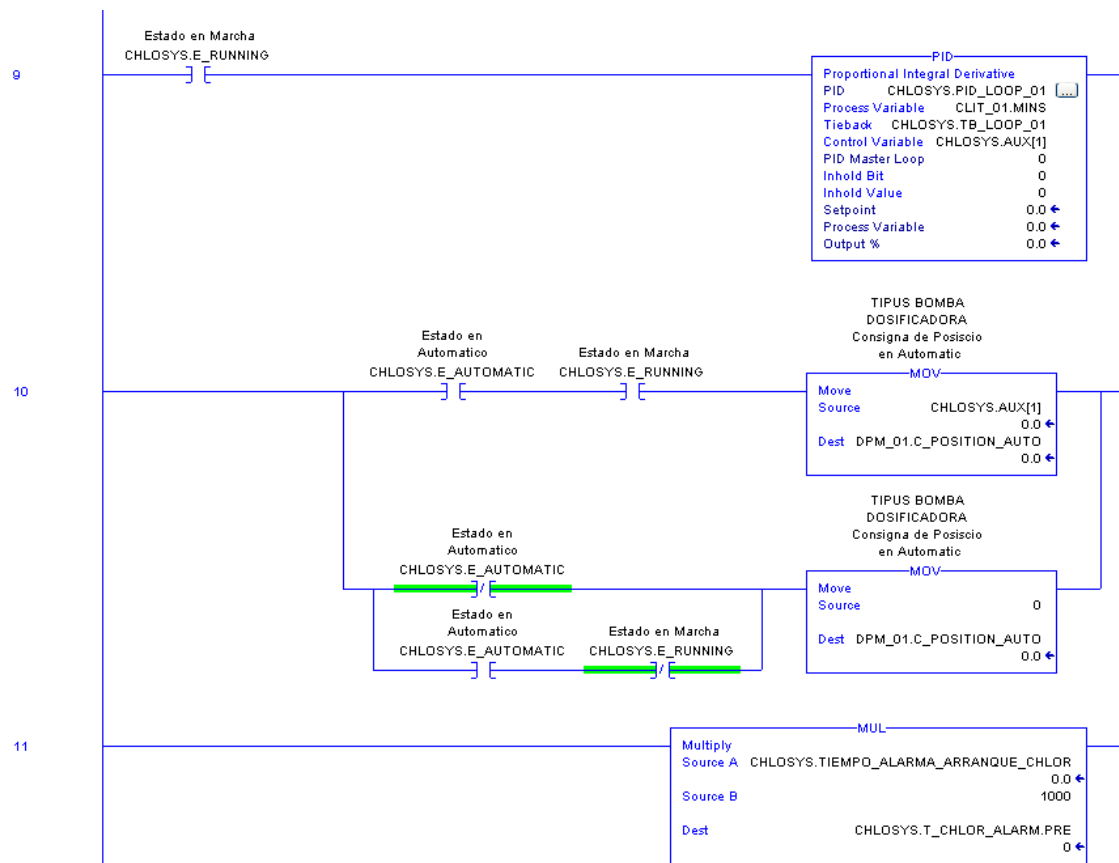


Figura 3.108. Código de control del sistema de cloración de agua. (Fuente [119] Propia)

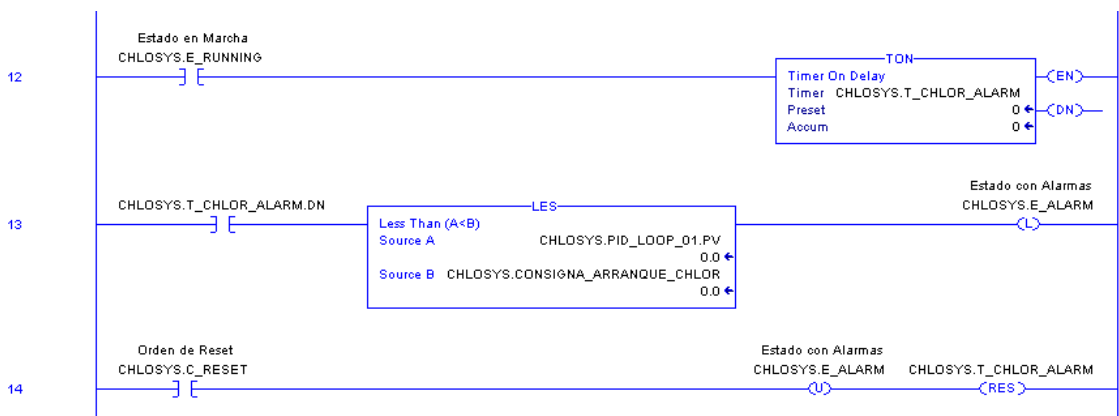


Figura 3.109. Código de control del sistema de cloración de agua. (Fuente [120] Propia)

3.8. Programa del software SCADA

3.8.1. Árbol de Navegación

Hay en total 56 ventanas en este trabajo de los cuales 8 ventanas son de tipo Replace y el resto es de tipo Popup. Como máximo se puede abrir secuencialmente ventana encima de ventana, dos ventanas más con respecto a la ventana principal de tipo Replace. Los arboles de navegación de todas estas ventanas son como se ve en el Anexo II

3.8.2. Definición de los tipos de datos

En el SCADA no se codifico tipos de datos, esto solo se codifico en el entorno RSLogix.

3.8.3. Diseño de las pantallas de la aplicación

Primero se creó una pantalla principal de tipo Replace con un sinóptico de todas las etapas de este trabajo, después otras pantallas de tipo Replace, donde en cada pantalla esta graficado el proceso de una etapa, las gráficas de estos procesos se hicieron por medio del programa Microsoft Visio. Encima de estas graficas se adjuntaron los actuadores y sensores por medio de Wizard. Estos actuadores y sensores tienen animaciones como: mostrar un color según su estado de marcha o paro, mostrar el valor numérico de los sensores y mostrar el movimiento de sus actuadores.

Cada pantalla de tipo Replace donde está representado una o dos etapas del proceso consta de figuras que son como botones, donde se pueden ingresar al acceso de usuario, pantalla de estado de alarmas de tipo Summary, acceso de alarmas de tipo Historical, acceso de descripción de etapa, ver el nombre de los componentes, ver las gráficas de históricos y tendencias, entrar al comando de actuadores y ver las comunicaciones de su etapa correspondiente.

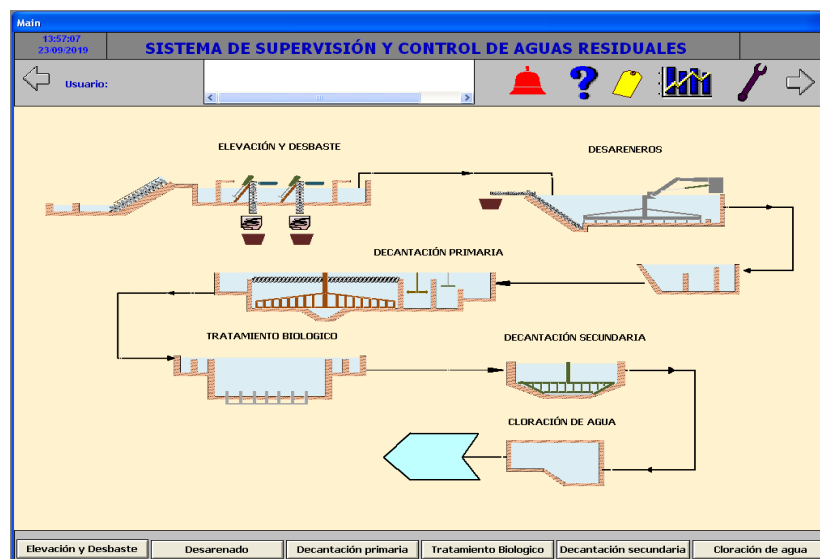


Figura 3.110. Diseño de la ventana principal. (Fuente [121] Propia)

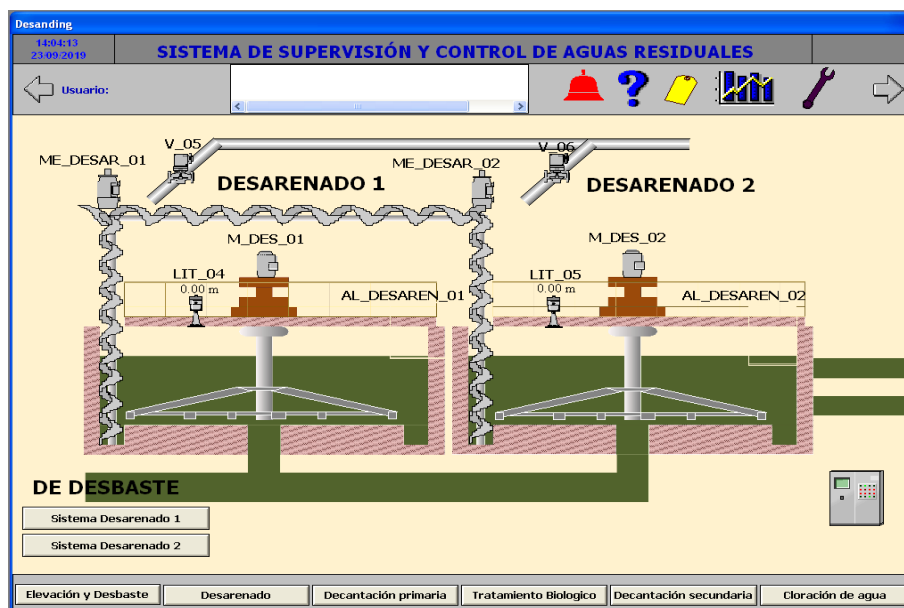


Figura 3.111. Diseño de la ventana de una etapa del proceso. (Fuente [122] Propia)

3.8.4. Diseño de los comandos

Hay comandos para actuadores como para sistemas.

Los comandos para todos los actuadores contienen un apartado donde se muestran los estados de estos, estos se ven cuando resaltan las letras de color gris a negro, después un apartado donde se encuentran los botones, para dar órdenes. Otros apartados de los comandos que no todos los actuadores contienen, son por ejemplo mostrar el estado en valor real, o un espacio para ingresar un valor real.

Los comandos para los sistemas contienen los mismos apartados que en los actuadores. En algunos sistemas contienen, además, un GRAFCET, donde se puede observar las fases que pasa el sistema para su regulación.

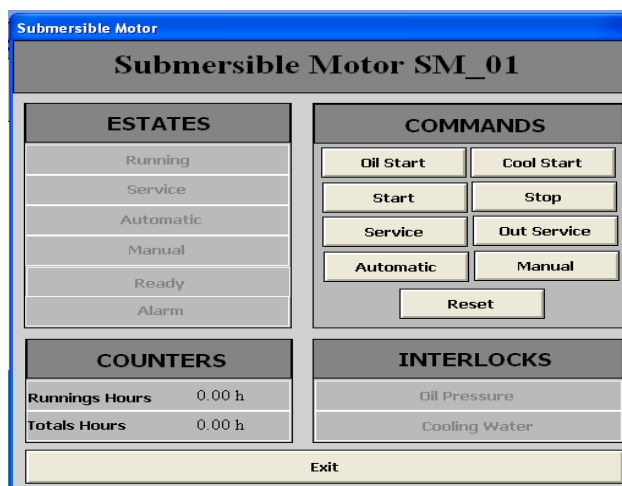


Figura 3.112. Diseño de una ventana de comando. (Fuente [123] Propia)

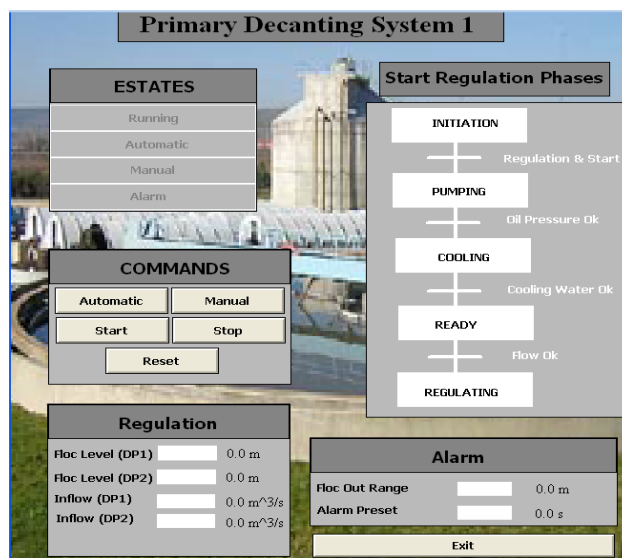


Figura 3.113. Diseño de una ventana de comando de sistema. (Fuente [124] Propia)

3.8.5. Scripts

- En la ventana River, que es una ventana de comandos, se escribió un Script que sirve para compartir la misma ventana para el comandó de los tres ríos.

```

IF RIO_RIVER=="RIVER 1" THEN
  IF OPEN_RIVER==1 THEN
    River1_C_Open=1;
  ELSE
    River1_C_Open=0;
  ENDIF;
  IF CLOSE_RIVER==1 THEN
    River1_C_Close=1;
  ELSE
    River1_C_Close=0;
  ENDIF;
  IF River1_E_Open==1 THEN
    E_OPEN_RIVER=1;
  ELSE
    E_OPEN_RIVER=0;
  ENDIF;
  IF River1_E_Close==1 THEN
    E_CLOSE_RIVER=1;
  ELSE
    E_CLOSE_RIVER=0;
  ENDIF;
ENDIF;

IF RIO_RIVER=="RIVER 2" THEN
  IF OPEN_RIVER==1 THEN
    River2_C_Open=1;
  ELSE
    River2_C_Open=0;
  ENDIF;
  IF CLOSE_RIVER==1 THEN
    River2_C_Close=1;
  ELSE
    River2_C_Close=0;
  ENDIF;
  IF River2_E_Open==1 THEN
    E_OPEN_RIVER=1;
  ELSE
    E_OPEN_RIVER=0;
  ENDIF;
  IF River2_E_Close==1 THEN
    E_CLOSE_RIVER=1;
  ELSE
    E_CLOSE_RIVER=0;
  ENDIF;
ENDIF;

```

Figura 3.114. Script en la ventana River. (Fuente [125] Propia)

- En la ventana de Elevation & Roughing, se encuentra el Script, en el que permite que las animaciones de los actuadores lineales de esta etapa se desplacen en dos posiciones (comprimido y extendido).

```

{[.....PARA QUE SE VEA COMPRIMIDO LOS ACTUADORES LINEALES.....]}
IF AL_G_01_E_COMPRESSED==1 OR AL_G_01_E_COMPRESSING==1 THEN
  LA_G_01_COMPRESSING=1;
ELSE
  LA_G_01_COMPRESSING=0;
ENDIF;

IF AL_G_02_E_COMPRESSED==1 OR AL_G_02_E_COMPRESSING==1 THEN
  LA_G_02_COMPRESSING=1;
ELSE
  LA_G_02_COMPRESSING=0;
ENDIF;

IF AL_G_03_E_COMPRESSED==1 OR AL_G_03_E_COMPRESSING==1 THEN
  LA_G_03_COMPRESSING=1;
ELSE
  LA_G_03_COMPRESSING=0;
ENDIF;

IF AL_G_04_E_COMPRESSED==1 OR AL_G_04_E_COMPRESSING==1 THEN
  LA_G_04_COMPRESSING=1;
ELSE
  LA_G_04_COMPRESSING=0;
ENDIF;

IF AL_G_01_E_EXTENDING==1 OR AL_G_01_E_EXTENDED==1 THEN
  LA_G_01_EXTENDING=1;
ELSE
  LA_G_01_EXTENDING=0;
ENDIF;

IF AL_G_02_E_EXTENDING==1 OR AL_G_02_E_EXTENDED==1 THEN
  LA_G_02_EXTENDING=1;
ELSE
  LA_G_02_EXTENDING=0;
ENDIF;

IF AL_G_03_E_EXTENDING==1 OR AL_G_03_E_EXTENDED==1 THEN
  LA_G_03_EXTENDING=1;
ELSE
  LA_G_03_EXTENDING=0;
ENDIF;

IF AL_G_04_E_EXTENDING==1 OR AL_G_04_E_EXTENDED==1 THEN
  LA_G_04_EXTENDING=1;
ELSE
  LA_G_04_EXTENDING=0;
ENDIF;

```

Figura 3.115. Script en la ventana Elevation & Roughing. (Fuente [126] Propia)

después se encuentra el Script para dar la animación del movimiento de los tornillos de Arquímedes, tal como se muestra en la Figura 3.116.

```

IF ME_01_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_TORNILLO_1=CONTADOR_TORNILLO_1 +1;
  IF CONTADOR_TORNILLO_1<=5 THEN
    TORNILLO_1_A=1;
    TORNILLO_1_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_TORNILLO_1>5 THEN
    TORNILLO_1_A=0;
    TORNILLO_1_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_TORNILLO_1==10 THEN
    CONTADOR_TORNILLO_1=0;
    TORNILLO_1_A=1;
    TORNILLO_1_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_TORNILLO_1=0;
  TORNILLO_1_A=1;
  TORNILLO_1_B=0;
ENDIF;

IF ME_02_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_TORNILLO_2=CONTADOR_TORNILLO_2 +1;
  IF CONTADOR_TORNILLO_2<=5 THEN
    TORNILLO_2_A=1;
    TORNILLO_2_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_TORNILLO_2>5 THEN
    TORNILLO_2_A=0;
    TORNILLO_2_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_TORNILLO_2==10 THEN
    CONTADOR_TORNILLO_2=0;
    TORNILLO_2_A=1;
    TORNILLO_2_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_TORNILLO_2=0;
  TORNILLO_2_A=1;
  TORNILLO_2_B=0;
ENDIF;

```

Figura 3.116. Script en la ventana Elevation & Roughing. (Fuente [127] Propia)

y por último se encuentra un Script para dar la apariencia de movimiento de la cinta transportadora, tal como se muestra en la Figura 3.117.

```

{-----CINTA_1-----}
IF M_C_01_E_RUNNING==1 THEN
  LINEA_1_A=LINEA_1_A + 1;
  LINEA_1_B=LINEA_1_B + 1;
  LINEA_1_C=LINEA_1_C + 1;
  LINEA_1_D=LINEA_1_D + 1;
  LINEA_1_E=LINEA_1_E + 1;
  IF LINEA_1_A==20 THEN
    LINEA_1_A=0;
  ENDIF;
  IF LINEA_1_B==20 THEN
    LINEA_1_B=0;
  ENDIF;
  IF LINEA_1_C==20 THEN
    LINEA_1_C=0;
  ENDIF;
  IF LINEA_1_D==20 THEN
    LINEA_1_D=0;
  ENDIF;
  IF LINEA_1_E==20 THEN
    LINEA_1_E=0;
  ENDIF;
ELSE
  LINEA_1_A=0;
  LINEA_1_B=0;
  LINEA_1_C=0;
  LINEA_1_D=0;
  LINEA_1_E=0;
ENDIF;

```

Figura 3.117. Script en la ventana Elevation & Roughing. (Fuente [128] Propia)

- En la ventana de Desanding se encuentra un Script para dar la animación de movimiento de los tornillos de Arquímedes de esa ventana, tal como se muestra en la Figura 3.118.

```

{-----MOTOR ELEVATOR-----}
IF ME_DESAR_01_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_ME_DESAR_1=CONTADOR_ME_DESAR_1+1;
  IF CONTADOR_ME_DESAR_1<=5 THEN
    TORNILLO_DESAR_1_A=1;
    TORNILLO_DESAR_1_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_ME_DESAR_1>5 THEN
    TORNILLO_DESAR_1_A=0;
    TORNILLO_DESAR_1_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_ME_DESAR_1==10 THEN
    CONTADOR_ME_DESAR_1=0;
    TORNILLO_DESAR_1_A=1;
    TORNILLO_DESAR_1_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_ME_DESAR_1=0;
  TORNILLO_DESAR_1_A=1;
  TORNILLO_DESAR_1_B=0;
ENDIF;

IF ME_DESAR_02_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_ME_DESAR_2=CONTADOR_ME_DESAR_2+1;
  IF CONTADOR_ME_DESAR_2<=5 THEN
    TORNILLO_DESAR_2_A=1;
    TORNILLO_DESAR_2_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_ME_DESAR_2>5 THEN
    TORNILLO_DESAR_2_A=0;
    TORNILLO_DESAR_2_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_ME_DESAR_2==10 THEN
    CONTADOR_ME_DESAR_2=0;
    TORNILLO_DESAR_2_A=1;
    TORNILLO_DESAR_2_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_ME_DESAR_2=0;
  TORNILLO_DESAR_2_A=1;
  TORNILLO_DESAR_2_B=0;
ENDIF;

```

Figura 3.118. Script en la ventana Desanding. (Fuente [129] Propia)

Después se encuentra un script para dar la animación del movimiento de las dos rasquetas de la ventana, tal como se ve en la Figura 3.119.

```

{-----MOTOR-----}
IF M_DES_01_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_M_DESAR_1=CONTADOR_M_DESAR_1+1;
  IF CONTADOR_M_DESAR_1<=10 THEN
    TABLA_DESAR_1_A=1;
    TABLA_DESAR_1_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DESAR_1>10 THEN
    TABLA_DESAR_1_A=0;
    TABLA_DESAR_1_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DESAR_1==20 THEN
    CONTADOR_M_DESAR_1=0;
    TABLA_DESAR_1_A=1;
    TABLA_DESAR_1_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_M_DESAR_1=0;
  TABLA_DESAR_1_A=1;
  TABLA_DESAR_1_B=0;
ENDIF;

IF M_DES_02_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_M_DESAR_2=CONTADOR_M_DESAR_2+1;
  IF CONTADOR_M_DESAR_2<=10 THEN
    TABLA_DESAR_2_A=1;
    TABLA_DESAR_2_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DESAR_2>10 THEN
    TABLA_DESAR_2_A=0;
    TABLA_DESAR_2_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DESAR_2==20 THEN
    CONTADOR_M_DESAR_2=0;
    TABLA_DESAR_2_A=1;
    TABLA_DESAR_2_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_M_DESAR_2=0;
  TABLA_DESAR_2_A=1;
  TABLA_DESAR_2_B=0;
ENDIF;

```

Figura 3.119. Script en la ventana Desanding. (Fuente [130] Propia)

Y por último se encuentra un Script para dar animación a los actuadores lineales para que se muevan en dos posiciones, tal como se muestra en la Figura 3.120.

```
{-----ACTUADOR LINEAL-----}
IF AL_DESAREN_01_E_COMPRESSED==1 OR AL_DESAREN_01_E_COMPRESSING==1 THEN
  LA_DESAREN_01_COMPRESSING=1;
ELSE
  LA_DESAREN_01_COMPRESSING=0;
ENDIF;
IF AL_DESAREN_01_E_EXTENDING==1 OR AL_DESAREN_01_E_EXTENDED==1 THEN
  LA_DESAREN_01_EXTENDING=1;
ELSE
  LA_DESAREN_01_EXTENDING=0;
ENDIF;

IF AL_DESAREN_02_E_COMPRESSED==1 OR AL_DESAREN_02_E_COMPRESSING==1 THEN
  LA_DESAREN_02_COMPRESSING=1;
ELSE
  LA_DESAREN_02_COMPRESSING=0;
ENDIF;
IF AL_DESAREN_02_E_EXTENDING==1 OR AL_DESAREN_02_E_EXTENDED==1 THEN
  LA_DESAREN_02_EXTENDING=1;
ELSE
  LA_DESAREN_02_EXTENDING=0;
ENDIF;
```

Figura 3.120. Script en la ventana Desanding. (Fuente [131] Propia)

- En la ventana Desanding System se encuentra un Script en el que se comparte una ventana de comando para comandar dos sistemas de desarenado, tal como se observa en la Figura 3.121.

```
IF DESANDING_SYSTEM=="Desanding System 1" THEN
  SANDSYS_01_C_LEVEL_SAND= SANDSYS_C_LEVEL_SAND;
  IF SANDSYS_C_START==1 THEN
    SANDSYS_01_C_START=1;
  ELSE
    SANDSYS_01_C_START=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_C_STOP==1 THEN
    SANDSYS_01_C_STOP=1;
  ELSE
    SANDSYS_01_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_C_AUTOMATIC==1 THEN
    SANDSYS_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SANDSYS_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_C_MANUAL==1 THEN
    SANDSYS_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    SANDSYS_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    SANDSYS_E_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SANDSYS_E_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_01_E_MANUAL==1 THEN
    SANDSYS_E_MANUAL=1;
  ELSE
    SANDSYS_E_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_01_E_RUNNING==1 THEN
    SANDSYS_E_RUNNING=1;
  ELSE
    SANDSYS_E_RUNNING=0;
  ENDIF;
ENDIF;

IF DESANDING_SYSTEM=="Desanding System 2" THEN
  SANDSYS_02_C_LEVEL_SAND= SANDSYS_C_LEVEL_SAND_2;
  IF SANDSYS_C_START==1 THEN
    SANDSYS_02_C_START=1;
  ELSE
    SANDSYS_02_C_START=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_C_STOP==1 THEN
    SANDSYS_02_C_STOP=1;
  ELSE
    SANDSYS_02_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_C_AUTOMATIC==1 THEN
    SANDSYS_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SANDSYS_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_C_MANUAL==1 THEN
    SANDSYS_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    SANDSYS_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    SANDSYS_E_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SANDSYS_E_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_02_E_MANUAL==1 THEN
    SANDSYS_E_MANUAL=1;
  ELSE
    SANDSYS_E_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SANDSYS_02_E_RUNNING==1 THEN
    SANDSYS_E_RUNNING=1;
  ELSE
    SANDSYS_E_RUNNING=0;
  ENDIF;
ENDIF;
```

Figura 3.121. Script en la ventana Desanding System. (Fuente [132] Propia)

- En la ventana Primary Decanting se encuentra un Script para el movimiento de las rasquetas de estas ventanas, tal como se observa en la Figura 3.122.

```

IF M_DP_01_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_M_DP_1=CONTADOR_M_DP_1 +1;
  IF CONTADOR_M_DP_1<=10 THEN
    TABLA_DP_1_A=1;
    TABLA_DP_1_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DP_1>10 THEN
    TABLA_DP_1_A=0;
    TABLA_DP_1_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DP_1==20 THEN
    CONTADOR_M_DP_1=0;
    TABLA_DP_1_A=1;
    TABLA_DP_1_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_M_DP_1=0;
  TABLA_DP_1_A=1;
  TABLA_DP_1_B=0;
ENDIF;

IF M_DP_02_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_M_DP_2=CONTADOR_M_DP_2 +1;
  IF CONTADOR_M_DP_2<=10 THEN
    TABLA_DP_2_A=1;
    TABLA_DP_2_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DP_2>10 THEN
    TABLA_DP_2_A=0;
    TABLA_DP_2_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_DP_2==20 THEN
    CONTADOR_M_DP_2=0;
    TABLA_DP_2_A=1;
    TABLA_DP_2_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_M_DP_2=0;
  TABLA_DP_2_A=1;
  TABLA_DP_2_B=0;
ENDIF;

```

Figura 3.122. Script en la ventana Primary Decanting. (Fuente [133] Propia)

Después se encuentra un Script para dar movimiento a las hélices del mezclador, tal como se ve en la Figura 3.123.

<pre> IF M_M_01_E_RUNNING==1 THEN CONTADOR_M_M_1=CONTADOR_M_M_1 +1; IF CONTADOR_M_M_1<=5 THEN BATIDOR_M_1_A=1; BATIDOR_M_1_B=0; ENDIF; IF CONTADOR_M_M_1>5 THEN BATIDOR_M_1_A=0; BATIDOR_M_1_B=1; ENDIF; IF CONTADOR_M_M_1==10 THEN CONTADOR_M_M_1=0; BATIDOR_M_1_A=1; BATIDOR_M_1_B=0; ENDIF; ELSE CONTADOR_M_M_1=0; BATIDOR_M_1_A=1; BATIDOR_M_1_B=0; ENDIF; </pre>	<pre> IF M_M_02_E_RUNNING==1 THEN CONTADOR_M_M_2=CONTADOR_M_M_2 +1; IF CONTADOR_M_M_2<=5 THEN BATIDOR_M_2_A=1; BATIDOR_M_2_B=0; ENDIF; IF CONTADOR_M_M_2>5 THEN BATIDOR_M_2_A=0; BATIDOR_M_2_B=1; ENDIF; IF CONTADOR_M_M_2==10 THEN CONTADOR_M_M_2=0; BATIDOR_M_2_A=1; BATIDOR_M_2_B=0; ENDIF; ELSE CONTADOR_M_M_2=0; BATIDOR_M_2_A=1; BATIDOR_M_2_B=0; ENDIF; </pre>
---	---

Figura 3.123. Script en la ventana Primary Decanting. (Fuente [134] Propia)

- En la ventana Primary Decanting System, se encuentra un Script para compartir la ventana de comando para los dos sistemas, tal como se observa en la Figura 3.124.


```

IF PRIMARY_DECANTING_SYSTEM=="Primary Decanting System 1" THEN
  DPSYS_01_C_LEVEL_FLOC=DPSYS_C_LEVEL_FLOC;
  DPSYS_01_C_INFLOW=DPSYS_C_INFLOW_1;
  DPSYS_01_TIEMPO_ALARMA=TIEMPO_ARRANQUE_DP;
  DPSYS_01_CONSIGNA_ARRANQUE_FLOC=CONSIGNA_ARRANQUE_FLOC;

  IF DPSYS_C_START==1 THEN
    DPSYS_01_C_START=1;
  ELSE
    DPSYS_01_C_START=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_STOP==1 THEN
    DPSYS_01_C_STOP=1;
  ELSE
    DPSYS_01_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_AUTOMATIC==1 THEN
    DPSYS_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    DPSYS_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    DPSYS_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_RESET==1 THEN
    DPSYS_01_C_RESET=1;
  ELSE
    DPSYS_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_ALARM==1 THEN
    DPSYS_E_ALARM=1;
  ELSE
    DPSYS_E_ALARM=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    DPSYS_E_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    DPSYS_E_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_E_MANUAL=1;
  ELSE
    DPSYS_E_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_RUNNING==1 THEN
    DPSYS_E_RUNNING=1;
  ELSE
    DPSYS_E_RUNNING=0;
  ENDIF;
ENDIF;

IF PRIMARY_DECANTING_SYSTEM=="Primary Decanting System 2" THEN
  DPSYS_02_C_LEVEL_FLOC=DPSYS_C_LEVEL_FLOC_2;
  DPSYS_02_C_INFLOW=DPSYS_C_INFLOW_2;
  DPSYS_02_TIEMPO_ALARMA=TIEMPO_ARRANQUE_DP;
  DPSYS_02_CONSIGNA_ARRANQUE_FLOC=CONSIGNA_ARRANQUE_FLOC;
  SM_02_T_CONSIGNA1=CONSIGNA1_SM;
  SM_02_T_CONSIGNA2=CONSIGNA2_SM;
  IF DPSYS_C_START==1 THEN
    DPSYS_02_C_START=1;
  ELSE
    DPSYS_02_C_START=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_STOP==1 THEN
    DPSYS_02_C_STOP=1;
  ELSE
    DPSYS_02_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_02_E_ALARM==1 THEN
    DPSYS_E_ALARM=1;
  ELSE
    DPSYS_E_ALARM=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_AUTOMATIC==1 THEN
    DPSYS_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    DPSYS_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    DPSYS_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_C_RESET==1 THEN
    DPSYS_02_C_RESET=1;
  ELSE
    DPSYS_02_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    DPSYS_E_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    DPSYS_E_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_02_E_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_E_MANUAL=1;
  ELSE
    DPSYS_E_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_02_E_RUNNING==1 THEN
    DPSYS_E_RUNNING=1;
  ELSE
    DPSYS_E_RUNNING=0;
  ENDIF;
ENDIF;

```

Figura 3.124. Script en la ventana Primary Decanting System. (Fuente [135] Propia)

Y por último se encuentra un Script para animar un GRAFCET y compartirlo para los dos sistemas, tal como se observa en la Figura 3.125.

```

(.....GRAFCET.....)

IF PRIMARY_DECANTING_SYSTEM=="Primary Decanting System 1" THEN
  IF DPSYS_01_E_AUTOMATIC==1 AND i==0 THEN
    DPSYS_STAGE_01_A=1;
    i=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_RUNNING==1 AND j==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_01_A=1;
    DPSYS_STAGE_01_A=0;
    j=1; n=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_01_A==1 THEN
    DPSYS_STAGE_02_A=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_STAGE_02_A==1 THEN
    DPSYS_SENSOR_01_A=0;
    DPSYS_STAGE_01_A=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_OILOK==1 AND k==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_02_A=1; DPSYS_STAGE_02_A=0;
    k=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_02_A==1 THEN
    DPSYS_STAGE_03_A=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_STAGE_03_A==1 THEN
    DPSYS_SENSOR_02_A=0;
    DPSYS_STAGE_01_A=0;
    DPSYS_STAGE_02_A=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_COOLOK==1 AND l==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_03_A=1; DPSYS_STAGE_03_A=0; l=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_03_A==1 THEN
    DPSYS_STAGE_04_A=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_STAGE_04_A==1 THEN
    DPSYS_SENSOR_03_A=0;
    DPSYS_STAGE_01_A=0;
    DPSYS_STAGE_02_A=0;
    DPSYS_STAGE_03_A=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_FLUJO_ENTRANTE_OK==1 AND m==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_04_A=1; DPSYS_STAGE_04_A=0; m=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_04_A==1 THEN
    DPSYS_STAGE_05_A=1;
  ENDIF;
ENDIF;

IF DPSYS_STAGE_05_A==1 THEN
  DPSYS_SENSOR_04_A=0;
  DPSYS_STAGE_01_A=0;
  DPSYS_STAGE_02_A=0;
  DPSYS_SENSOR_02_A=0;
  DPSYS_STAGE_03_A=0;
  DPSYS_SENSOR_04_A=0;
  DPSYS_STAGE_05_A=0;
  n=1; i=0; k=0; l=0; m=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_STAGE_01_A=0;
    DPSYS_SENSOR_01_A=0;
    DPSYS_STAGE_02_A=0;
    DPSYS_SENSOR_02_A=0;
    DPSYS_STAGE_03_A=0;
    DPSYS_SENSOR_04_A=0;
    DPSYS_STAGE_05_A=0;
    i=0; j=0; k=0; l=0; m=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_01_E_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_STAGE_01_A=0;
    DPSYS_SENSOR_01_A=0;
    DPSYS_STAGE_02_A=0;
    DPSYS_SENSOR_02_A=0;
    DPSYS_STAGE_03_A=0;
    DPSYS_SENSOR_04_A=0;
    DPSYS_STAGE_05_A=0;
    i=0; j=0; k=0; l=0; m=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_01=DPSYS_SENSOR_01_A;
  DPSYS_SENSOR_02=DPSYS_SENSOR_02_A;
  DPSYS_SENSOR_03=DPSYS_SENSOR_03_A;
  DPSYS_SENSOR_04=DPSYS_SENSOR_04_A;
  DPSYS_STAGE_01=DPSYS_STAGE_01_A;
  DPSYS_STAGE_02=DPSYS_STAGE_02_A;
  DPSYS_STAGE_03=DPSYS_STAGE_03_A;
  DPSYS_STAGE_04=DPSYS_STAGE_04_A;
  DPSYS_STAGE_05=DPSYS_STAGE_05_A;
ENDIF;

IF PRIMARY_DECANTING_SYSTEM=="Primary Decanting System 2" THEN
  IF DPSYS_02_E_AUTOMATIC==1 AND a==0 THEN
    DPSYS_STAGE_01_B=1;
    a=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_02_E_RUNNING==1 AND b==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_01_B=1;
    DPSYS_STAGE_01_B=0;
    b=1; f=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_01_B==1 THEN
    DPSYS_STAGE_02_B=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_STAGE_02_B==1 THEN
    DPSYS_SENSOR_01_B=0;
    DPSYS_STAGE_01_B=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_OILOK==1 AND c==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_02_B=1; DPSYS_STAGE_02_B=0;
    c=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_02_B==1 THEN
    DPSYS_STAGE_03_B=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_STAGE_03_B==1 THEN
    DPSYS_SENSOR_02_B=0;
    DPSYS_STAGE_01_B=0;
    DPSYS_STAGE_02_B=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_COOLOK==1 AND d==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_03_B=1; DPSYS_STAGE_03_B=0; d=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_03_B==1 THEN
    DPSYS_STAGE_04_B=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_STAGE_04_B==1 THEN
    DPSYS_SENSOR_03_B=0;
    DPSYS_STAGE_01_B=0;
    DPSYS_STAGE_02_B=0;
    DPSYS_STAGE_03_B=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_FLUJO_ENTRANTE_OK==1 AND e==0 THEN
    DPSYS_SENSOR_04_B=1; DPSYS_STAGE_04_B=0; e=1;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_04_B==1 THEN
    DPSYS_STAGE_05_B=1;
  ENDIF;
ENDIF;

IF DPSYS_STAGE_05_B==1 THEN
  DPSYS_SENSOR_04_B=0;
  DPSYS_STAGE_01_B=0;
  DPSYS_SENSOR_01_B=0;
  DPSYS_STAGE_02_B=0;
  DPSYS_SENSOR_02_B=0;
  DPSYS_STAGE_03_B=0;
  DPSYS_SENSOR_04_B=0;
  DPSYS_STAGE_05_B=0;
  f=1; a=0; b=0; c=0; d=0; e=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_02_E_MANUAL==1 THEN
    DPSYS_STAGE_01_B=0;
    DPSYS_SENSOR_01_B=0;
    DPSYS_STAGE_02_B=0;
    DPSYS_SENSOR_02_B=0;
    DPSYS_STAGE_03_B=0;
    DPSYS_SENSOR_04_B=0;
    DPSYS_STAGE_05_B=0;
    a=0; b=0; c=0; d=0; e=0; f=0;
  ENDIF;
  IF DPSYS_SENSOR_01=DPSYS_SENSOR_01_B;
  DPSYS_SENSOR_02=DPSYS_SENSOR_02_B;
  DPSYS_SENSOR_03=DPSYS_SENSOR_03_B;
  DPSYS_SENSOR_04=DPSYS_SENSOR_04_B;
  DPSYS_STAGE_01=DPSYS_STAGE_01_B;
  DPSYS_STAGE_02=DPSYS_STAGE_02_B;
  DPSYS_STAGE_03=DPSYS_STAGE_03_B;
  DPSYS_STAGE_04=DPSYS_STAGE_04_B;
  DPSYS_STAGE_05=DPSYS_STAGE_05_B;
ENDIF;

```

Figura 3.125. Script en la ventana Primary Decanting System. (Fuente [136] Propia)

- En la ventana Secondary Decanting, se encuentra un Script para animar el movimiento de la rasqueta de esta ventana, tal como se muestra en la Figura 3.126.

```

IF SCR_01_E_RUNNING==1 THEN
  CONTADOR_M_SCR_1=CONTADOR_M_SCR_1 +1;
  IF CONTADOR_M_SCR_1<=10 THEN
    TABLA_SCR_1_A=1;
    TABLA_SCR_1_B=0;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_SCR_1>10 THEN
    TABLA_SCR_1_A=0;
    TABLA_SCR_1_B=1;
  ENDIF;
  IF CONTADOR_M_SCR_1==20 THEN
    CONTADOR_M_SCR_1=0;
    TABLA_SCR_1_A=1;
    TABLA_SCR_1_B=0;
  ENDIF;
ELSE
  CONTADOR_M_SCR_1=0;
  TABLA_SCR_1_A=1;
  TABLA_SCR_1_B=0;
ENDIF;

```

Figura 3.126. Script en la ventana Secondary Decanting. (Fuente [137] Propia)

- En la ventana Chlorination System, se encuentra un Script con capacidad para compartir la misma ventana de comandos dos sistemas, tal como se muestra en la Figura 3.127.

```

IF CHLO_SYSTEM=="Chlorination System" THEN
  CHLOSYS_C_CHLOR=CHLO_C_CHLOR;
  CHLOSYS_TIEMPO_ALARMA_CHLOR=TIEMPO_ARRANQUE_CHLOR;
  CHLOSYS_CONSIGNA_ARRANQUE_CHLOR=CONSIGNA_ARRANQUE_CHLOR;
  IF CHLO_C_RESET==1 THEN
    CHLOSYS_C_RESET=1;
  ELSE
    CHLOSYS_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF CHLO_C_START==1 THEN
    CHLOSYS_C_START=1;
  ELSE
    CHLOSYS_C_START=0;
  ENDIF;
  IF CHLO_C_STOP==1 THEN
    CHLOSYS_C_STOP=1;
  ELSE
    CHLOSYS_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF CHLO_C_AUTOMATIC==1 THEN
    CHLOSYS_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    CHLOSYS_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF CHLO_C_MANUAL==1 THEN
    CHLOSYS_C_MANUAL=1;
  ELSE
    CHLOSYS_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF CHLOSYS_E_ALARM==1 THEN
    CHLO_E_ALARM=1;
  ELSE
    CHLO_E_ALARM=0;
  ENDIF;
  IF CHLOSYS_E_AUTOMATIC==1 THEN
    CHLO_E_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    CHLO_E_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF CHLOSYS_E_MANUAL==1 THEN
    CHLO_E_MANUAL=1;
  ELSE
    CHLO_E_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF CHLOSYS_E_RUNNING==1 THEN
    CHLO_E_RUNNING=1;
  ELSE
    CHLO_E_RUNNING=0;
  ENDIF;
ENDIF;

```

Figura 3.127. Script en la ventana Chlorination System. (Fuente [138] Propia)

- En cada ventana de los actuadores, se encuentra un Script para compartir una ventana de comandos para varios actuadores del mismo tipo, tal como se muestra desde la Figura 3.128 hasta la Figura 3.134.

```

IF ACTUADOR_DPM=="Dosing Pump DPM_01" THEN
  IF AUTOMATIC_DPM==1 THEN
    DPM_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    DPM_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_DPM==1 THEN
    DPM_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    DPM_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_DPM==1 THEN
    DPM_01_C_SERVICE=1;
  ELSE
    DPM_01_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_DPM==1 THEN
    DPM_01_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    DPM_01_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_DPM==1 THEN
    DPM_01_C_RESET=1;
  ELSE
    DPM_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  DPM_01_C_POSITION=POSITION_DPM;
  IF DPM_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_DPM=1;
  ELSE
    E_ALARM_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_DPM=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_DPM=1;
  ELSE
    E_MANUAL_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_DPM=1;
  ELSE
    E_SERVICE_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_01_close==1 THEN
    E_close_DPM=1;
  ELSE
    E_close_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_01_open==1 THEN
    E_open_DPM=1;
  ELSE
    E_open_DPM=0;
  ENDIF;
  E_YPOSITION_DPM=DPM_01_YPOSITION;
ENDIF;

IF ACTUADOR_DPM=="Dosing Pump DPM_02" THEN
  IF AUTOMATIC_DPM==1 THEN
    DPM_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    DPM_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_DPM==1 THEN
    DPM_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    DPM_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_DPM==1 THEN
    DPM_02_C_SERVICE=1;
  ELSE
    DPM_02_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_DPM==1 THEN
    DPM_02_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    DPM_02_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_DPM==1 THEN
    DPM_02_C_RESET=1;
  ELSE
    DPM_02_C_RESET=0;
  ENDIF;
  DPM_02_C_POSITION=POSITION_DPM;
  IF DPM_02_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_DPM=1;
  ELSE
    E_ALARM_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_DPM=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_02_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_DPM=1;
  ELSE
    E_MANUAL_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_02_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_DPM=1;
  ELSE
    E_SERVICE_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_02_close==1 THEN
    E_close_DPM=1;
  ELSE
    E_close_DPM=0;
  ENDIF;
  IF DPM_02_open==1 THEN
    E_open_DPM=1;
  ELSE
    E_open_DPM=0;
  ENDIF;
  E_YPOSITION_DPM=DPM_02_YPOSITION;
ENDIF;

```

Figura 3.128. Script en la ventana Dosing Pump. (Fuente [139] Propia)

```

IF ACTUADOR_ME=="Elevador Motor ME_01" THEN
  IF START_ME==1 THEN
    ME_01_C_START=1;
  ELSE
    ME_01_C_START=0;
  ENDIF;
  IF STOP_ME==1 THEN
    ME_01_C_STOP=1;
  ELSE
    ME_01_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_ME==1 THEN
    ME_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    ME_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_ME==1 THEN
    ME_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    ME_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_ME==1 THEN
    ME_01_C_SERVICE=1;
  ELSE
    ME_01_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_ME==1 THEN
    ME_01_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    ME_01_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_ME==1 THEN
    ME_01_C_RESET=1;
  ELSE
    ME_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF ME_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_ME=1;
  ELSE
    E_ALARM_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_ME=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_ME=1;
  ELSE
    E_MANUAL_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_01_E_RUNNING==1 THEN
    E_RUNNING_ME=1;
  ELSE
    E_RUNNING_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_ME=1;
  ELSE
    E_SERVICE_ME=0;
  ENDIF;
ENDIF;

IF ACTUADOR_ME=="Elevador Motor ME_02" THEN
  IF START_ME==1 THEN
    ME_02_C_START=1;
  ELSE
    ME_02_C_START=0;
  ENDIF;
  IF STOP_ME==1 THEN
    ME_02_C_STOP=1;
  ELSE
    ME_02_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_ME==1 THEN
    ME_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    ME_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_ME==1 THEN
    ME_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    ME_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_ME==1 THEN
    ME_02_C_SERVICE=1;
  ELSE
    ME_02_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_ME==1 THEN
    ME_02_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    ME_02_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_ME==1 THEN
    ME_02_C_RESET=1;
  ELSE
    ME_02_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF ME_02_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_ME=1;
  ELSE
    E_ALARM_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_ME=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_02_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_ME=1;
  ELSE
    E_MANUAL_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_02_E_RUNNING==1 THEN
    E_RUNNING_ME=1;
  ELSE
    E_RUNNING_ME=0;
  ENDIF;
  IF ME_02_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_ME=1;
  ELSE
    E_SERVICE_ME=0;
  ENDIF;
ENDIF;

```

Figura 3.129. Script en la ventana Elevador Motor. (Fuente [140] Propia)

```

IF ACTUADOR_FCV=="Flow Control Valve FCV_01" THEN
  IF AUTOMATIC_FCV==1 THEN
    FCV_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    FCV_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_FCV==1 THEN
    FCV_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    FCV_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_FCV==1 THEN
    FCV_01_C_SERVICE=1;
  ELSE
    FCV_01_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_FCV==1 THEN
    FCV_01_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    FCV_01_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_FCV==1 THEN
    FCV_01_C_RESET=1;
  ELSE
    FCV_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  FCV_01_C_POSITION=POSITION_FCV;
  IF FCV_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_FCV=1;
  ELSE
    E_ALARM_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_FCV=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_FCV=1;
  ELSE
    E_MANUAL_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_FCV=1;
  ELSE
    E_SERVICE_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_01_close==1 THEN
    E_close_FCV=1;
  ELSE
    E_close_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_01_open==1 THEN
    E_open_FCV=1;
  ELSE
    E_open_FCV=0;
  ENDIF;
  E_YPOSITION_FCV=FCV_01_YPOSITION;
ENDIF;

IF ACTUADOR_FCV=="Flow Control Valve FCV_02" THEN
  IF AUTOMATIC_FCV==1 THEN
    FCV_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    FCV_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_FCV==1 THEN
    FCV_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    FCV_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_FCV==1 THEN
    FCV_02_C_SERVICE=1;
  ELSE
    FCV_02_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_FCV==1 THEN
    FCV_02_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    FCV_02_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_FCV==1 THEN
    FCV_02_C_RESET=1;
  ELSE
    FCV_02_C_RESET=0;
  ENDIF;
  FCV_02_C_POSITION=POSITION_FCV;
  IF FCV_02_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_FCV=1;
  ELSE
    E_ALARM_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_FCV=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_02_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_FCV=1;
  ELSE
    E_MANUAL_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_02_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_FCV=1;
  ELSE
    E_SERVICE_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_02_close==1 THEN
    E_close_FCV=1;
  ELSE
    E_close_FCV=0;
  ENDIF;
  IF FCV_02_open==1 THEN
    E_open_FCV=1;
  ELSE
    E_open_FCV=0;
  ENDIF;
  E_YPOSITION_FCV=FCV_02_YPOSITION;
ENDIF;

```

Figura 3.130. Script en la ventana Flow Control Valve. (Fuente [141] Propia)

<pre> IF ACTUADOR_AL=="Linear Actuator AL_G_01" THEN IF COMPRESS_AL==1 THEN AL_G_01_C_COMPRESS=1; ELSE AL_G_01_C_COMPRESS=0; ENDIF; IF EXTEND_AL==1 THEN AL_G_01_C_EXTEND=1; ELSE AL_G_01_C_EXTEND=0; ENDIF; IF AUTOMATIC_AL==1 THEN AL_G_01_C_AUTOMATIC=1; ELSE AL_G_01_C_AUTOMATIC=0; ENDIF; IF MANUAL_AL==1 THEN AL_G_01_C_MANUAL=1; ELSE AL_G_01_C_MANUAL=0; ENDIF; IF SERVICE_AL==1 THEN AL_G_01_C_SERVICE=1; ELSE AL_G_01_C_SERVICE=0; ENDIF; IF OUT_SERVICE_AL==1 THEN AL_G_01_C_OSERVICE=1; ELSE AL_G_01_C_OSERVICE=0; ENDIF; IF RESET_AL==1 THEN AL_G_01_C_RESET=1; ELSE AL_G_01_C_RESET=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_ALARM==1 THEN E_ALARM_AL=1; ELSE E_ALARM_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_AUTOMATIC==1 THEN E_AUTOMATIC_AL=1; ELSE E_AUTOMATIC_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_MANUAL==1 THEN E_MANUAL_AL=1; ELSE E_MANUAL_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_COMPRESSED==1 THEN E_COMPRESSED_AL=1; ELSE E_COMPRESSED_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_SERVICE==1 THEN E_SERVICE_AL=1; ELSE E_SERVICE_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_EXTENDED==1 THEN E_EXTENDED_AL=1; ELSE E_EXTENDED_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_EXTENDING==1 THEN E_EXTENDING_AL=1; ELSE E_EXTENDING_AL=0; ENDIF; IF AL_G_01_E_COMPRESSING==1 THEN E_COMPRESSING_AL=1; ELSE E_COMPRESSING_AL=0; ENDIF; ENDIF; </pre>	<pre> IF ACTUADOR_AL=="Linear Actuator AL_G_02" THEN IF COMPRESS_AL==1 THEN AL_G_02_C_COMPRESS=1; ELSE AL_G_02_C_COMPRESS=0; ENDIF; IF EXTEND_AL==1 THEN AL_G_02_C_EXTEND=1; ELSE AL_G_02_C_EXTEND=0; ENDIF; IF AUTOMATIC_AL==1 THEN AL_G_02_C_AUTOMATIC=1; ELSE AL_G_02_C_AUTOMATIC=0; ENDIF; IF MANUAL_AL==1 THEN AL_G_02_C_MANUAL=1; ELSE AL_G_02_C_MANUAL=0; ENDIF; IF SERVICE_AL==1 THEN AL_G_02_C_SERVICE=1; ELSE AL_G_02_C_SERVICE=0; ENDIF; IF OUT_SERVICE_AL==1 THEN AL_G_02_C_OSERVICE=1; ELSE AL_G_02_C_OSERVICE=0; ENDIF; IF RESET_AL==1 THEN AL_G_02_C_RESET=1; ELSE AL_G_02_C_RESET=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_ALARM==1 THEN E_ALARM_AL=1; ELSE E_ALARM_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_AUTOMATIC==1 THEN E_AUTOMATIC_AL=1; ELSE E_AUTOMATIC_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_MANUAL==1 THEN E_MANUAL_AL=1; ELSE E_MANUAL_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_COMPRESSED==1 THEN E_COMPRESSED_AL=1; ELSE E_COMPRESSED_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_SERVICE==1 THEN E_SERVICE_AL=1; ELSE E_SERVICE_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_EXTENDED==1 THEN E_EXTENDED_AL=1; ELSE E_EXTENDED_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_EXTENDING==1 THEN E_EXTENDING_AL=1; ELSE E_EXTENDING_AL=0; ENDIF; IF AL_G_02_E_COMPRESSING==1 THEN E_COMPRESSING_AL=1; ELSE E_COMPRESSING_AL=0; ENDIF; ENDIF; </pre>
--	--

Figura 3.131. Script en la ventana Linear Actuator. (Fuente [142] Propia)

```

IF ACTUADOR_MOTOR=="Motor VPM_01" THEN
  IF START_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_START=1;
  ELSE
    VPM_01_C_START=0;
  ENDIF;
  IF STOP_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_STOP=1;
  ELSE
    VPM_01_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    VPM_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    VPM_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_SERVICE=1;
  ELSE
    VPM_01_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    VPM_01_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_MOTOR==1 THEN
    VPM_01_C_RESET=1;
  ELSE
    VPM_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF VPM_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_MOTOR=1;
  ELSE
    E_ALARM_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF VPM_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_MOTOR=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF VPM_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_MOTOR=1;
  ELSE
    E_MANUAL_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF VPM_01_E_RUNNING==1 THEN
    E_RUNNING_MOTOR=1;
  ELSE
    E_RUNNING_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF VPM_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_MOTOR=1;
  ELSE
    E_SERVICE_MOTOR=0;
  ENDIF;
ENDIF;

IF ACTUADOR_MOTOR=="Motor SCR_01" THEN
  IF START_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_START=1;
  ELSE
    SCR_01_C_START=0;
  ENDIF;
  IF STOP_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_STOP=1;
  ELSE
    SCR_01_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SCR_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    SCR_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_SERVICE=1;
  ELSE
    SCR_01_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    SCR_01_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_MOTOR==1 THEN
    SCR_01_C_RESET=1;
  ELSE
    SCR_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF SCR_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_MOTOR=1;
  ELSE
    E_ALARM_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF SCR_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_MOTOR=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF SCR_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_MOTOR=1;
  ELSE
    E_MANUAL_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF SCR_01_E_RUNNING==1 THEN
    E_RUNNING_MOTOR=1;
  ELSE
    E_RUNNING_MOTOR=0;
  ENDIF;
  IF SCR_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_MOTOR=1;
  ELSE
    E_SERVICE_MOTOR=0;
  ENDIF;
ENDIF;

```

Figura 3.132. Script en la ventana Motor. (Fuente [143] Propia)

```

IF ACTUADOR_SM=="Submersible Motor SM_02" THEN
  IF START_SM==1 THEN
    SM_02_C_START=1;
  ELSE
    SM_02_C_START=0;
  ENDIF;
  IF OIL_START_SM==1 THEN
    SM_02_C_OIL=1;
  ELSE
    SM_02_C_OIL=0;
  ENDIF;
  IF COOL_START_SM==1 THEN
    SM_02_C_COOL=1;
  ELSE
    SM_02_C_COOL=0;
  ENDIF;
  IF STOP_SM==1 THEN
    SM_02_C_STOP=1;
  ELSE
    SM_02_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_SM==1 THEN
    SM_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SM_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_SM==1 THEN
    SM_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    SM_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_SM==1 THEN
    SM_02_C_SERVICE=1;
  ELSE
    SM_02_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_SM==1 THEN
    SM_02_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    SM_02_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_SM==1 THEN
    SM_02_C_RESET=1;
  ELSE
    SM_02_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_SM=1;
  ELSE
    E_ALARM_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_SM=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_SM=1;
  ELSE
    E_MANUAL_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_RUNNING==1 THEN
    E_RUNNING_SM=1;
  ELSE
    E_RUNNING_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_SM=1;
  ELSE
    E_SERVICE_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_OILOK==1 THEN
    E_OILOK_SM=1;
  ELSE
    E_OILOK_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_COOLOK==1 THEN
    E_COOLOK_SM=1;
  ELSE
    E_COOLOK_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_02_E_READY==1 THEN
    E_READY_SM=1;
  ELSE
    E_READY_SM=0;
  ENDIF;
  E_RHOURS_SM=SM_02_RHOURS;
  E_THOURS_SM=SM_02_THOURS;
ENDIF;

IF ACTUADOR_SM=="Submersible Motor SM_01" THEN
  IF START_SM==1 THEN
    SM_01_C_START=1;
  ELSE
    SM_01_C_START=0;
  ENDIF;
  IF OIL_START_SM==1 THEN
    SM_01_C_OIL=1;
  ELSE
    SM_01_C_OIL=0;
  ENDIF;
  IF COOL_START_SM==1 THEN
    SM_01_C_COOL=1;
  ELSE
    SM_01_C_COOL=0;
  ENDIF;
  IF STOP_SM==1 THEN
    SM_01_C_STOP=1;
  ELSE
    SM_01_C_STOP=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_SM==1 THEN
    SM_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    SM_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_SM==1 THEN
    SM_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    SM_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_SM==1 THEN
    SM_01_C_SERVICE=1;
  ELSE
    SM_01_C_SERVICE=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_SM==1 THEN
    SM_01_C_OSERVICE=1;
  ELSE
    SM_01_C_OSERVICE=0;
  ENDIF;
  IF RESET_SM==1 THEN
    SM_01_C_RESET=1;
  ELSE
    SM_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_SM=1;
  ELSE
    E_ALARM_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_SM=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_SM=1;
  ELSE
    E_MANUAL_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_RUNNING==1 THEN
    E_RUNNING_SM=1;
  ELSE
    E_RUNNING_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_SM=1;
  ELSE
    E_SERVICE_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_OILOK==1 THEN
    E_OILOK_SM=1;
  ELSE
    E_OILOK_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_COOLOK==1 THEN
    E_COOLOK_SM=1;
  ELSE
    E_COOLOK_SM=0;
  ENDIF;
  IF SM_01_E_READY==1 THEN
    E_READY_SM=1;
  ELSE
    E_READY_SM=0;
  ENDIF;
  E_RHOURS_SM=SM_01_RHOURS;
  E_THOURS_SM=SM_01_THOURS;
ENDIF;

```

Figura 3.133. Script en la ventana Submersible Motor. (Fuente [144] Propia)


```

IF ACTUADOR_V=="Valve V_01" THEN
  IF OPEN_V==1 THEN
    V_01_C_OPEN=1;
  ELSE
    V_01_C_OPEN=0;
  ENDIF;
  IF CLOSE_V==1 THEN
    V_01_C_CLOSE=1;
  ELSE
    V_01_C_CLOSE=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_V==1 THEN
    V_01_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    V_01_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_V==1 THEN
    V_01_C_MANUAL=1;
  ELSE
    V_01_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_V==1 THEN
    V_01_C_SERVEI=1;
  ELSE
    V_01_C_SERVEI=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_V==1 THEN
    V_01_C_FSERVEI=1;
  ELSE
    V_01_C_FSERVEI=0;
  ENDIF;
  IF RESET_V==1 THEN
    V_01_C_RESET=1;
  ELSE
    V_01_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF V_01_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_V=1;
  ELSE
    E_ALARM_V=0;
  ENDIF;
  IF V_01_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_V=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_V=0;
  ENDIF;
  IF V_01_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_V=1;
  ELSE
    E_MANUAL_V=0;
  ENDIF;
  IF V_01_E_FCO==1 THEN
    E_OPEN_V=1;
  ELSE
    E_OPEN_V=0;
  ENDIF;
  IF V_01_E_FCT==1 THEN
    E_CLOSED_V=1;
  ELSE
    E_CLOSED_V=0;
  ENDIF;
  IF V_01_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_V=1;
  ELSE
    E_SERVICE_V=0;
  ENDIF;
ENDIF;

IF ACTUADOR_V=="Valve V_02" THEN
  IF OPEN_V==1 THEN
    V_02_C_OPEN=1;
  ELSE
    V_02_C_OPEN=0;
  ENDIF;
  IF CLOSE_V==1 THEN
    V_02_C_CLOSE=1;
  ELSE
    V_02_C_CLOSE=0;
  ENDIF;
  IF AUTOMATIC_V==1 THEN
    V_02_C_AUTOMATIC=1;
  ELSE
    V_02_C_AUTOMATIC=0;
  ENDIF;
  IF MANUAL_V==1 THEN
    V_02_C_MANUAL=1;
  ELSE
    V_02_C_MANUAL=0;
  ENDIF;
  IF SERVICE_V==1 THEN
    V_02_C_SERVEI=1;
  ELSE
    V_02_C_SERVEI=0;
  ENDIF;
  IF OUT_SERVICE_V==1 THEN
    V_02_C_FSERVEI=1;
  ELSE
    V_02_C_FSERVEI=0;
  ENDIF;
  IF RESET_V==1 THEN
    V_02_C_RESET=1;
  ELSE
    V_02_C_RESET=0;
  ENDIF;
  IF V_02_E_ALARM==1 THEN
    E_ALARM_V=1;
  ELSE
    E_ALARM_V=0;
  ENDIF;
  IF V_02_E_AUTOMATIC==1 THEN
    E_AUTOMATIC_V=1;
  ELSE
    E_AUTOMATIC_V=0;
  ENDIF;
  IF V_02_E_MANUAL==1 THEN
    E_MANUAL_V=1;
  ELSE
    E_MANUAL_V=0;
  ENDIF;
  IF V_02_E_FCO==1 THEN
    E_OPEN_V=1;
  ELSE
    E_OPEN_V=0;
  ENDIF;
  IF V_02_E_FCT==1 THEN
    E_CLOSED_V=1;
  ELSE
    E_CLOSED_V=0;
  ENDIF;
  IF V_02_E_SERVICE==1 THEN
    E_SERVICE_V=1;
  ELSE
    E_SERVICE_V=0;
  ENDIF;
ENDIF;

```

Figura 3.134. Script en la ventana Valve. (Fuente [145] Propia)

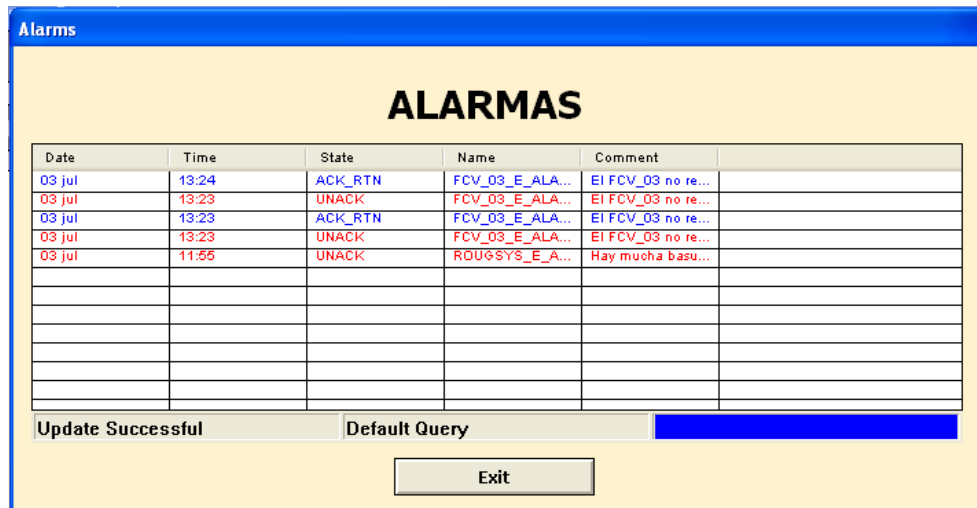
- Y en la carpeta Application se encuentra un Script para sincronizar el tiempo de los gráficos de tendencias históricas con el tiempo del ordenador, tal como se muestra en la Figura 3.135.

```
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend");  
HistTrend.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend1");  
HistTrend1.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend2");  
HistTrend2.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend3");  
HistTrend3.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend4");  
HistTrend4.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend5");  
HistTrend5.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend6");  
HistTrend6.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend7");  
HistTrend7.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend8");  
HistTrend8.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend9");  
HistTrend9.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend10");  
HistTrend10.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend11");  
HistTrend11.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend12");  
HistTrend12.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend13");  
HistTrend13.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend14");  
HistTrend14.UpdateTrend=1;  
  
HTUpdateToCurrentTime("HistTrend15");  
HistTrend15.UpdateTrend=1;
```

Figura 3.135. Script en la carpeta Application. (Fuente [146] Propia)

3.8.6. Diseño de la interfaz de alarmas del sistema

la pantalla de alarmas se encuentra en el apartado de Alarm Display en Wizard Selection. Para que solo ciertas variables se consideren alarmas, estas se agruparon en un grupo, el nombre del grupo se añadió en la configuración de la pantalla de alarmas. La ventana de alarma es tal como se muestra en la Figura 3.136.



Date	Time	State	Name	Comment
03 jul	13:24	ACK_RTN	FCV_03_E_ALA...	EI FCV_03 no re...
03 jul	13:23	UNACK	FCV_03_E_ALA...	EI FCV_03 no re...
03 jul	13:23	ACK_RTN	FCV_03_E_ALA...	EI FCV_03 no re...
03 jul	13:23	UNACK	FCV_03_E_ALA...	EI FCV_03 no re...
03 jul	11:55	UNACK	ROUGSYS_E_A...	Hay mucha basu...

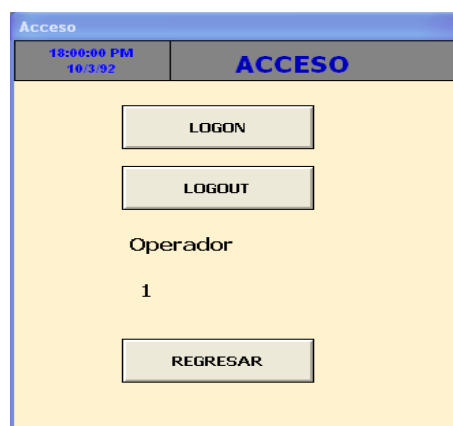
Update Successful Default Query [Blue Bar]

Exit

Figura 3.136. Ventana de alarmas de tipo histórico. (Fuente [147] Propia)

3.8.7. Gestión de usuarios

Hay dos tipos de acceso de usuario, uno es el Operador que tiene un puntaje de 1 de acceso para visualizar todos los sistemas, pero no para comandar. Y el otro usuario es de Administrador con un puntaje de 5, en el que además de ver todos los sistemas, también puede comandarlos. La ventana de acceso es tal como se muestra en la Figura 3.137.



Acceso

18:00:00 PM
10/3/92

ACCESO

LOGON

LOGOUT

Operador

1

REGRESAR

Figura 3.137. Ventana de acceso de usuario. (Fuente [148] Propia)

3.8.8. Gráficos de históricos y tendencias

Los gráficos de tendencia histórica son de tipo Hist trend con un panel de tipo Trend Zoom/Pan, estos se encuentran en el apartado Trend en Wizard Selection en el entorno Intouch. En total hay 9 variables que tienen gráficos de tendencias históricas, pero como no se considera la variable de la etapa de tratamiento biológico, solo se menciona 8, estos son: el nivel de agua antes de la elevación, nivel de agua antes del desbaste, nivel de arena del desarenado 1, nivel de arena del desarenado 2, nivel de floculante del decantado primario 1, nivel de floculante del decantado primario 2, nivel de floculante del decantado secundario y concentración de cloro de la cámara de cloración de agua. En la Figura 3.138, se muestra una de las ventanas de grafico de tendencia histórica.

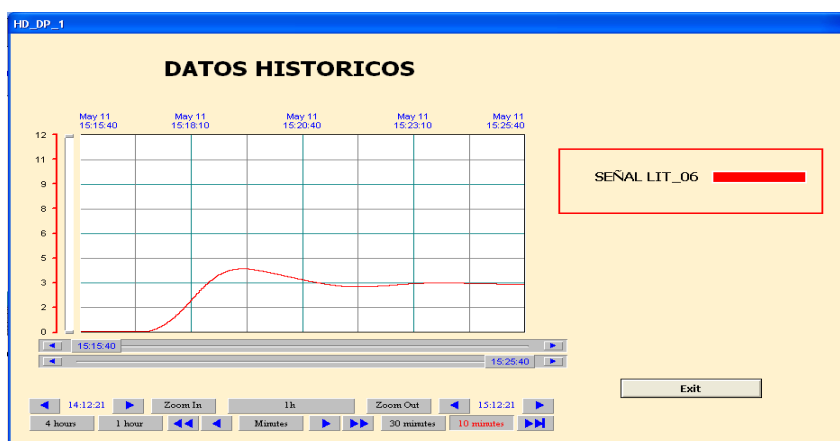


Figura 3.138. Ventana de datos históricos. (Fuente [149] Propia)

CAPITULO 4: PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1. Diseño de las pruebas de entradas y salidas físicas

Este proceso es una simulación, por tal motivo para hacer las pruebas, solo basto con usar el ordenador y no maquinaria o instrumentación presente físicamente.

Para esto se probó en modo manual todos los actuadores. Que consistió en dar la orden por medio de presionar botones o ingresar valores reales y se obtuvo como resultados salidas tanto de tipo real como booleano que se mostraron en el interfaz SCADA y en el controlador RSLogix. Por lo que se dio como buena la codificación.

4.2. Diseño de las pruebas de funcionalidad

Después de probar que este correcto los códigos de control en modo manual de todos los actuadores, el siguiente paso fue diseñar la automatización de las etapas que contiene este proceso. Las automatizaciones en estas etapas son de dos tipos de control que son control por medio del PID y el control todo/nada. en el control de la automatización por medio del PID, se utiliza el método de lazo cerrado.

Las etapas de elevación, desbaste, desarenado y decantado secundario contienen actuadores de tipo todo/nada por lo que el control automático es de tipo todo/nada. en las etapas de decantado primario y cloración de agua contienen actuadores en el que tienen grados de abertura o marcha, por lo que en estas etapas el control automático se hace mediante un PID

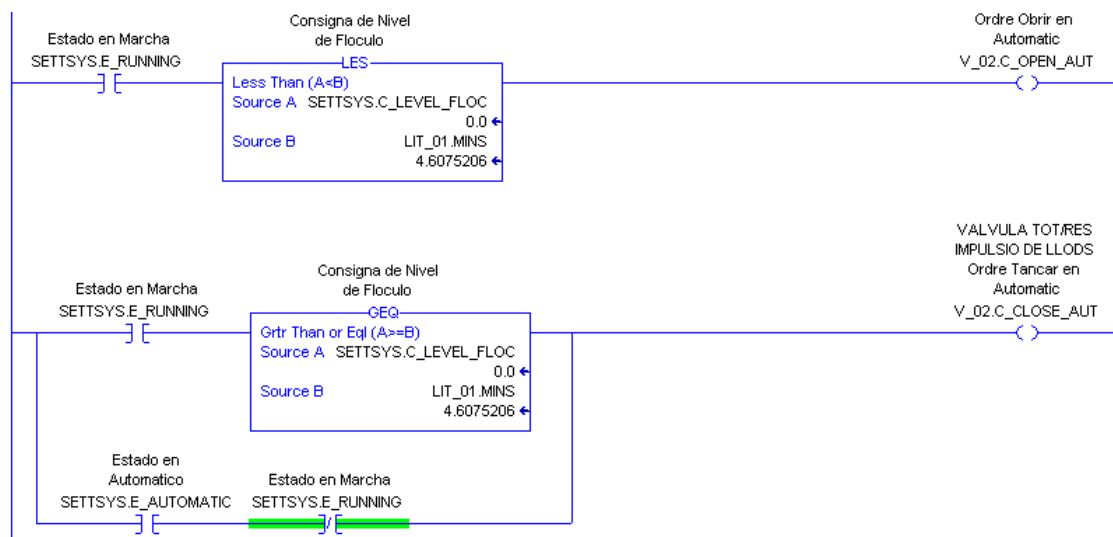


Figura 4.1. Tipo de control todo/nada. (Fuente [150] Propia)

	Kp	Ki	Kd
P només	0.5 Kpu	-	-
PI	0.45 Kpu	1.2/Tu	-
PID	0.6 Kpu	2/Tu	Tu/8

Figura 4.2. Método de lazo cerrado mediante PID. (Fuente [151] Propia)

4.3. Diseño de las pruebas entre Controlador y SCADA

Para la comunicación entre el SCADA y el Controlador, se configuro desde el Intouch (SCADA), en el cual se entró en Access Name y se añadió el servidor DDE; Con esto todos los Tag's que se crearon en Intouch (SCADA) se pudieron vincular con los Tag's del controlador (RSLogix).

La comunicación entre SCADA y Controlador es correcta porque al dar ejecutar en el controlador y después Runtime en el Intouch, se observó que coinciden sus entradas y salidas.

4.4. Resultado de las pruebas

Los resultados de la automatización correcta según sus valores de consigna, se pueden ver a través de los gráficos de tendencias históricas o también por medio del controlador, estos son los mostrados desde la Figura 4.3 hasta la Figura 4.10.



Figura 4.3. Datos históricos del nivel de agua en la etapa de elevación. (Fuente [152] Propia)



Figura 4.4. Datos históricos del nivel de agua en la etapa de desbaste. (Fuente [153] Propia)



Figura 4.5. Datos históricos del nivel de arena del desarenado 1. (Fuente [154] Propia)



Figura 4.6. Datos históricos del nivel de arena del desarenado 2. (Fuente [155] Propia)



Figura 4.7. Datos históricos del nivel de floculante del decantado primario 1. (Fuente [156] Propia)



Figura 4.8. Datos históricos del nivel de floculante del decantado primario 2. (Fuente [157] Propia)



Figura 4.9. Datos históricos del nivel de floculante del decantado secundario. (Fuente [158] Propia)



Figura 4.10. Datos históricos de la concentración de cloro de la cámara de cloración. (Fuente [159] Propia)

CAPITULO 5:

NORMATIVA

5.1. Metodología de desarrollo

La metodología de desarrollo es por las pautas de la norma ISA-95 e ISA-88. En el ISA-88, se menciona como se implementa acciones físicas, biológicas, químicas, etc. cuando se quiere hacer un proceso industrial, también los recursos físicos necesarios para realizarlo.

En el ISA-95, se menciona los niveles o capas que un proceso industrial debe tener, en el cual son 5 niveles. En el nivel más bajo se encuentran los sensores y actuadores, le sigue los controladores lógicos programables PLC, después los sistemas de supervisión, y por último los sistemas de información.

5.2. Codificación e Identificación

La codificación e identificación es importante en este trabajo, hace posible poder identificar o configurar algún elemento o sistema fácilmente y también ayuda a que un codificador ajeno pueda familiarizarse con los elementos y sistemas cuando este entra al mando. Esta sigue la norma ANSI/ISA-S5.1.

5.3. Implementación del programa del PLC

El programa que se usa en este trabajo es el entorno RSLogix, este tiene la norma IEC 61131-3. En el que se enseña cómo se configura, como se estructura, como se organiza, etc. el entorno. Por ejemplo, el uso de las indexaciones UDT y Add-On para crear un único código para varios actuadores o sistemas del mismo tipo. También cómo usar el PID y como crear código para simular un proceso.

5.4. Programación del SCADA

En el diseño del SCADA se siguió la guía GEDIS, en el que consta de indicadores para el diseño estético de la interfaz estas son: la estructura, la distribución, la navegación, el color de texto, el estado de los dispositivos, valores de proceso, gráficos y tablas.

CAPITULO 6:

CONCLUSIONES

Cuando se empezó hacer el trabajo se pensó que sería una metodología rígida de un solo ciclo, pero surgieron muchos cambios por lo cual varios ciclos, en el que cada ciclo fue mejor que el anterior. En todos estos ciclos no hubo gastos significativos, porque el único recurso a gastar fue el tiempo y no el costo de materiales.

Se tuvo como recursos importantes para hacer este trabajo: haber cursado asignaturas que ayudaron a encaminar el trabajo y la navegación a internet cuando se quiso saber más sobre el comportamiento del proceso, las instrucciones de los programas, los problemas con los programas, etc.

Y decir que este trabajo puede ser útil como material didáctico para futuros alumnos que tendrían como labor hacer la interfaz y el código de control, a partir de que ya se tiene el código de simulación del proceso.

CAPITULO 7:

BIBLIOGRAFIA

7.1. Libros, revistas y PDF's

- [1] **Love, Jonathan.** *Process Automation Handbook: A Guide to Theory and Practice [en línea]*. London: Springer London, 2007 Disponible a: <<http://dx.doi.org/10.1007/978-1-84628-282-9>>.ISBN 9781846282829.
- [2] **Boy, Guy A.** *The Handbook of human-machine interaction*. CRC Press, 2011. ISBN 9780754675808.
- [3] **Krutz, Ronald L.** *Securing SCADA Systems*. Wiley, 2005. ISBN 9780764597879.
- [4] **Bequette, B. Wayne.** *Process control, modeling, design and simulation*. Prentice Hall, 2003. ISBN 9780133536409.
- [5] **Ollero de Castro, Pedro; Fernández Camacho, Eduardo.** *Control e instrumentación de procesos químicos*. Madrid: Síntesis, DL 1997. ISBN 8477385173.
- [6] **Castro Gil, Manuel-Alonso.** *Comunicaciones industriales: sistemas distribuidos y aplicaciones*. Unidades didácticas. Madrid: UNED, 2007. ISBN 9788436254679 (CART.).
- [7] **Rodríguez Penin, Aquilino.** *Sistemas SCADA*. 3ª ed. Barcelona: Marcombo, 2012. ISBN 9788426717818.
- [8] **Rut, E.** (2009). *TRACTAMENT D'AIGÜES RESIDUALS*.

7.2. Enlaces

[9] Tutoriales Ingeniería. (12 Jan. 2016). *SCADA: Intouch Wonderware*. [En Línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=gqsBX79IbZo&list=PL1NzpLhQV-9M_Wa7upUpwD_TVsaBoFBnv> [Consulta 15 Apr. 2019].

[10] Luis vala. (17 Jul. 2014). *INTOUCH USUARIOS-SEGURIDAD*. [En Línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=Od6DT1l_AIY&t=33s> [Consulta 1 May 2019].

[11] Diego Sendoya. (7 Mar. 2013). *PLC*. [En Línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=oNBaLIcABFE&list=PLcn-NJiWGBNYcqiyh6eYSJbvwRYCq_C_-> [Consulta 10 Apr. 2019].

[12] WikipediA. (31 May 2019). *Automatización industrial*. [En Línea].

<https://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial> [Consulta 25 May 2019].

[13] Yoney Gallardo. (27 Jun. 2016). *Curso de Visio 2016 – completo*. [En Línea]. <<https://www.youtube.com/watch?v=5dDd63sp1Q4&t=2215s>> [15 Mar. 2019].

[14] WIKILIBROS. (26 Sep. 2016). *Ingeniería de aguas residuales/Pretratamiento*. [En Línea]. <https://es.wikibooks.org/wiki/Ingenier%C3%ADa_de_aguas_residuales/Pretratamiento> [Consulta 10 Apr. 2019].

[15] educarEx. (2007). *Funcionamiento de una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR)*. España: Comunidad de Extremadura. [En Línea]. <<http://contenidos.educarex.es/mci/2007/11/activid/edar/edar.htm>> [Consulta 11 Apr. 2019].

[16] infoPLC. (2013). *Error con intouch 9.5*. [En Línea]. <<http://www.infopl.net/foro/showthread.php?13154-Error-con-intouch-9-5>> [Consulta 1 May 2019].

[17] {lwp}. (2007). *Wonderware*. [En Línea]. <<https://www.lawebdelprogramador.com/foros/SCADA/index1.html>> [Consulta 15 Feb. 2019].

[18] Matemáticas profe Alex. (17 Nov. 2019). *Regla de tres compuesta | Ejemplo 1*. [En Línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=oWDzbIp7x_M> [Consulta 20 Feb. 2019].

[19] Raruto bdp. (7 Jul. 2013). *Comunicación (Excel e Intouch)*. [En Línea]. <https://www.youtube.com/watch?v=JOY_UGihJ_8&t=143s> [Consulta 25 Feb. 2019].

ANEXO I. PRESUPUESTO ECONÓMICO

Para este trabajo se requirieron dos perfiles de ingenieros, primero el ingeniero analista que analizo el problema y lo describió para solucionarlo. Segundo el ingeniero programador que se encargó de confeccionar el código según lo que indico el ingeniero analista. Las tareas que hicieron cada uno de estos perfiles de ingeniero son los siguientes:

Para el ingeniero analista:

TAREAS	HORAS	PRECIO/ HORA	TOTAL PRECIO
Análisis y descripción del comportamiento de las etapas en la primera iteración.	4	55	220
Análisis y descripción del comportamiento de las etapas en la segunda iteración.	5	55	275
Corrección del aspecto estético de la interfaz.	1	55	55
Corrección del comportamiento de la etapa de desbaste.	1	55	55
Redactar parte de la documentación y la presentación.	20	55	1100
SUBTOTAL	31 h	--	1705 €
IVA(21%)	--	--	358 €
TOTAL	31 h	--	2063 €

Tabla 1. Presupuesto económico. (Fuente Propia)

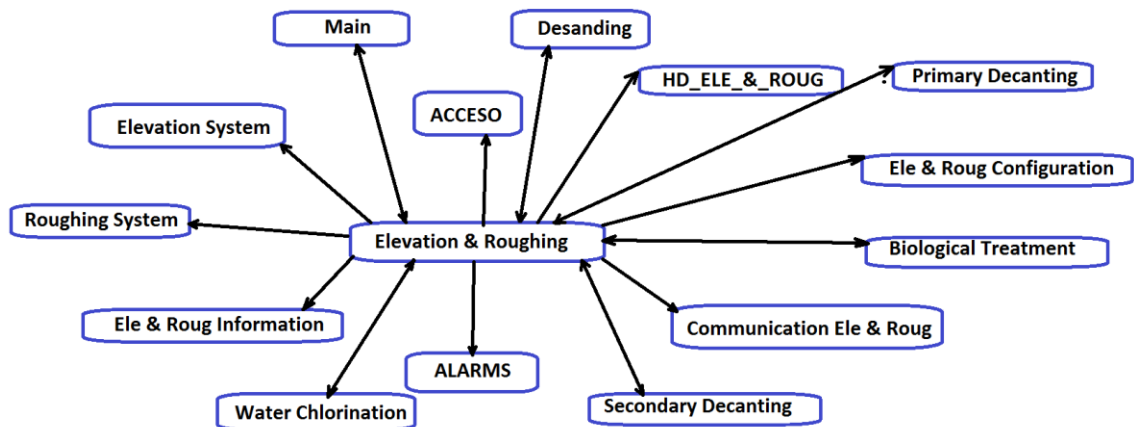
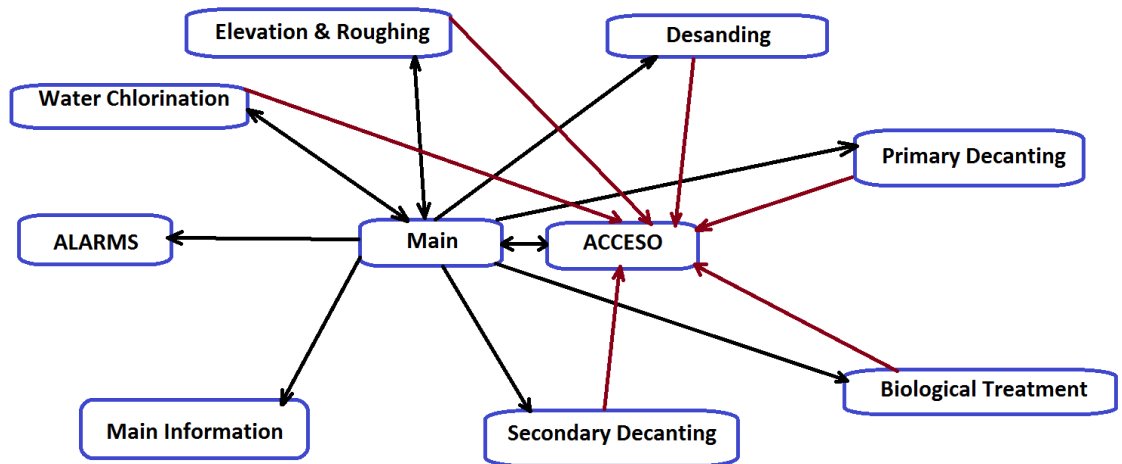
Para el ingeniero programador:

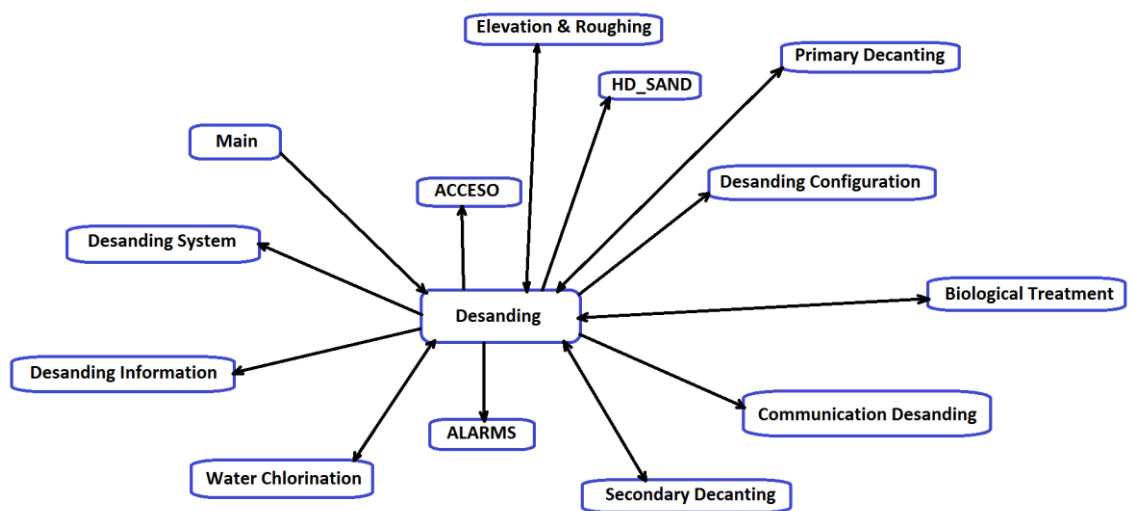
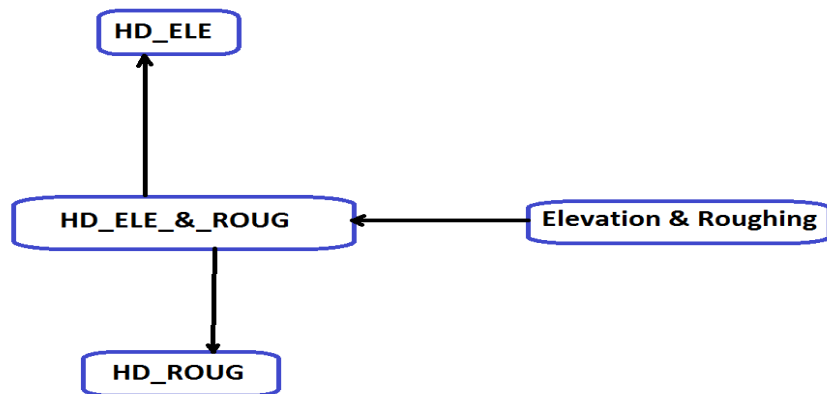
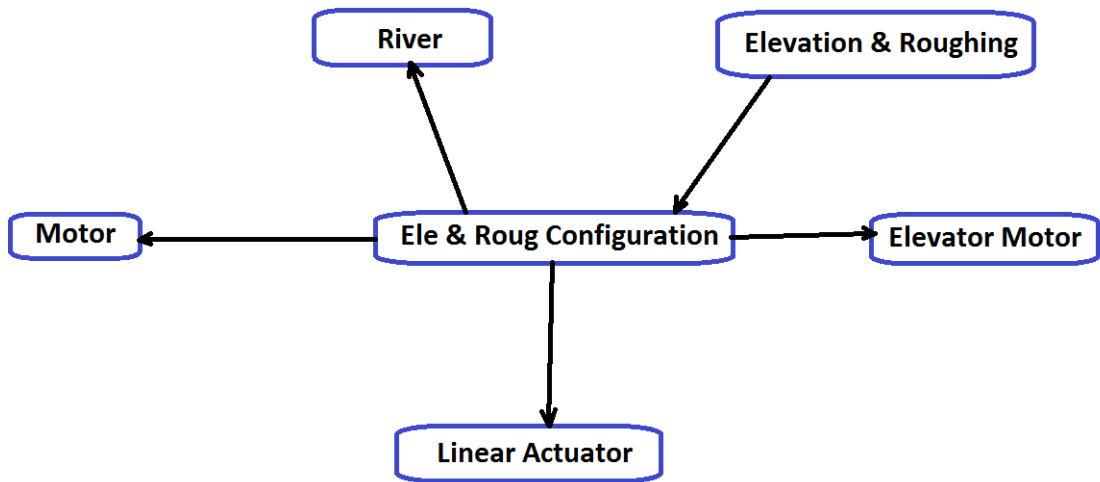
TAREAS	HORAS	PRECIO/ HORA	TOTAL PRECIO
Confección del código de simulación en la primera iteración.	10	30	300
Diseño estético en la primera iteración.	10	30	300
Confección del código de simulación en la segunda iteración.	20	30	600
Confección del código de control en modo manual en la segunda iteración.	20	30	600
Diseño estético en la segunda iteración.	20	30	600
Animación de la interfaz en la segunda iteración.	10	30	300
Confección del código de control en modo automático en la tercera iteración.	10	30	300
Animación de la interfaz en la tercera iteración.	5	30	150
Corrección del código de simulación en la tercera iteración.	4	30	120
Corrección del código de control manual en la tercera iteración.	4	30	120
Redactar parte de la documentación en la cuarta iteración.	10	30	300
Corrección del código de simulación en la quinta iteración.	10	30	300
Redactar parte de la documentación en la quinta iteración.	10	30	300
Redactar parte de la presentación en la quinta iteración.	1	30	300
SUBTOTAL	144 h	--	4590 €
IVA(21%)	--	--	963.9 €
TOTAL	144 h	--	5553.9€

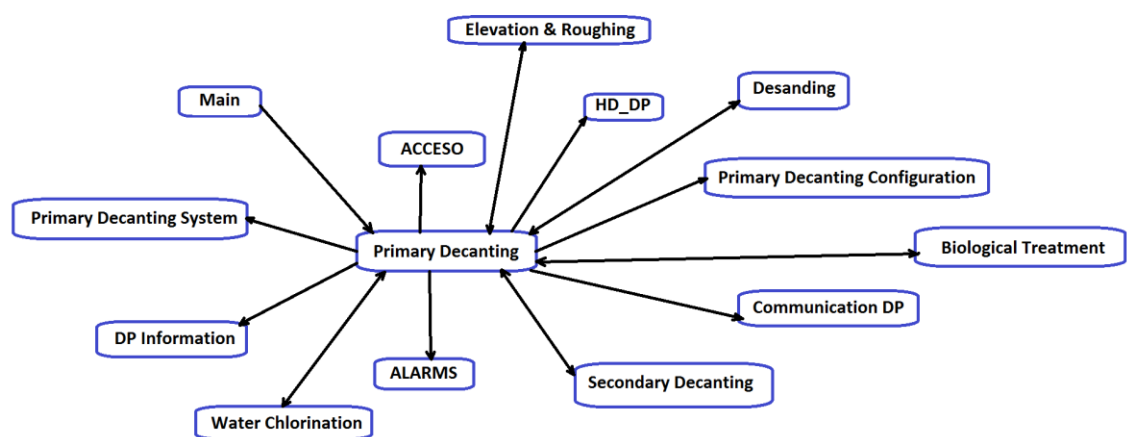
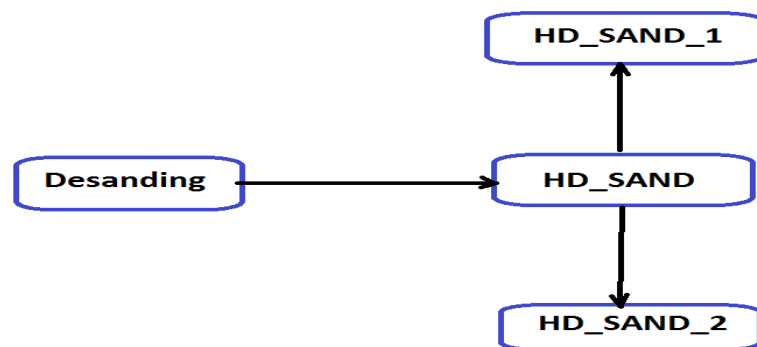
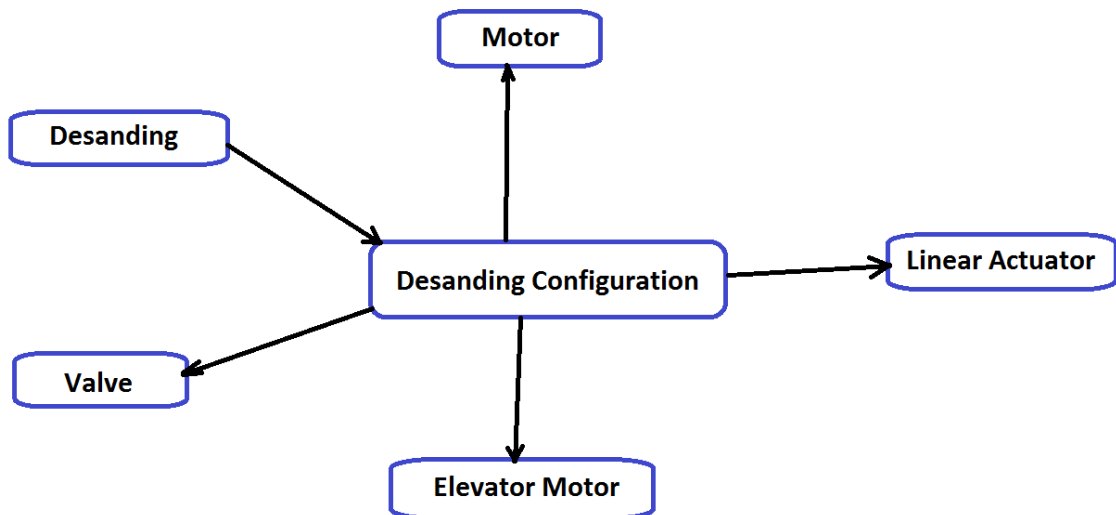
Tabla 2. Presupuesto económico. (Fuente Propia)

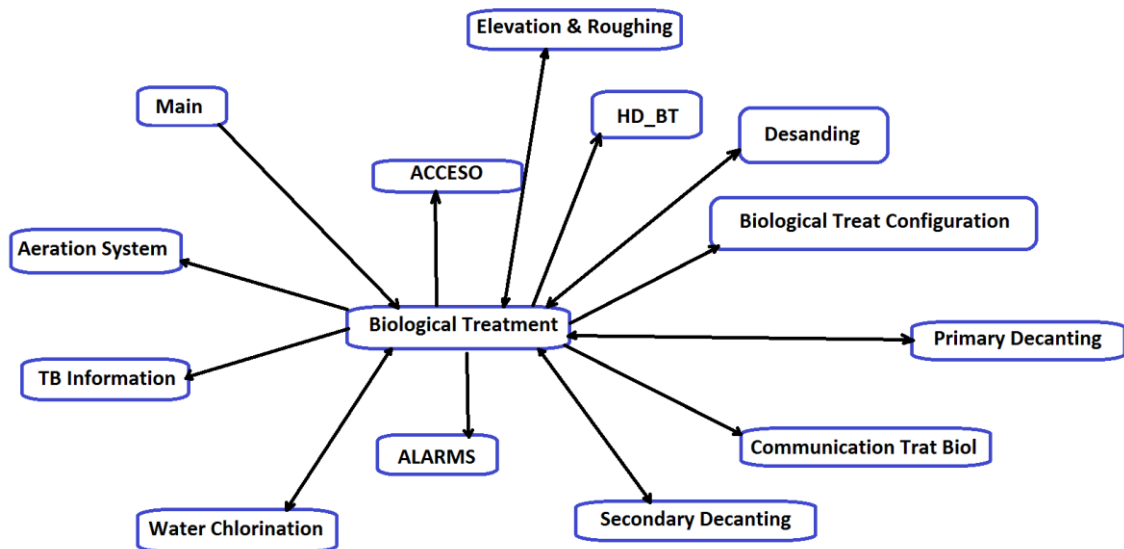
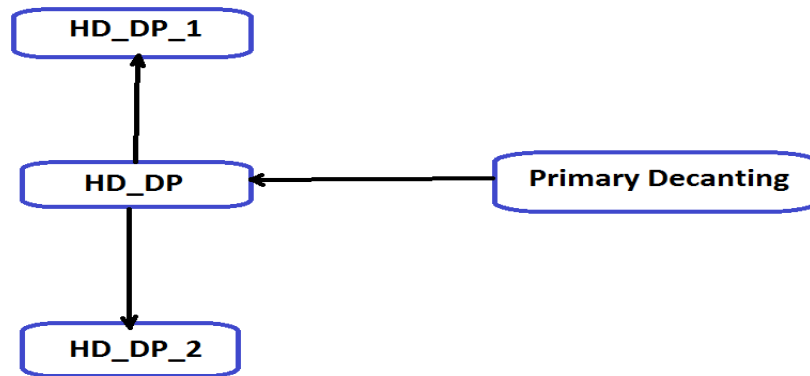
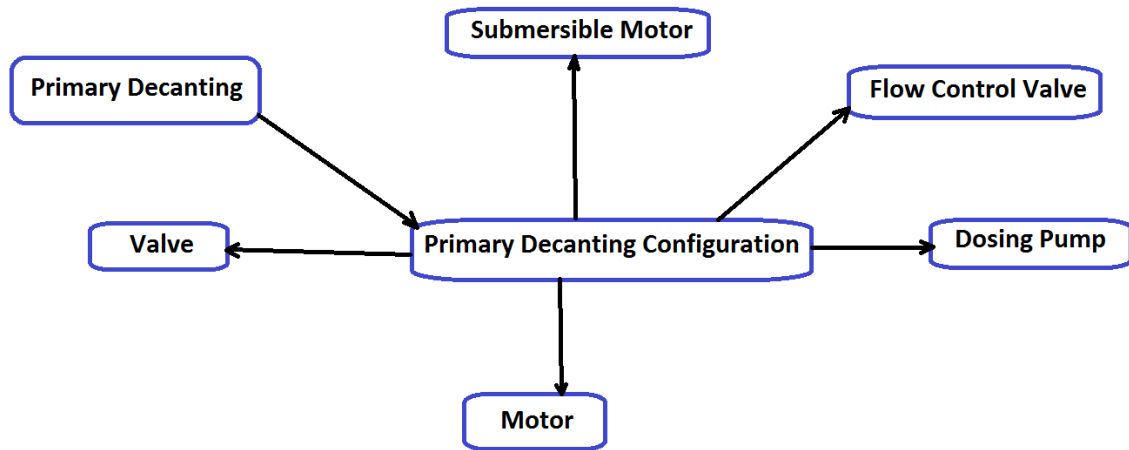
Por lo que el presupuesto total de este trabajo es de 7616,9 €.

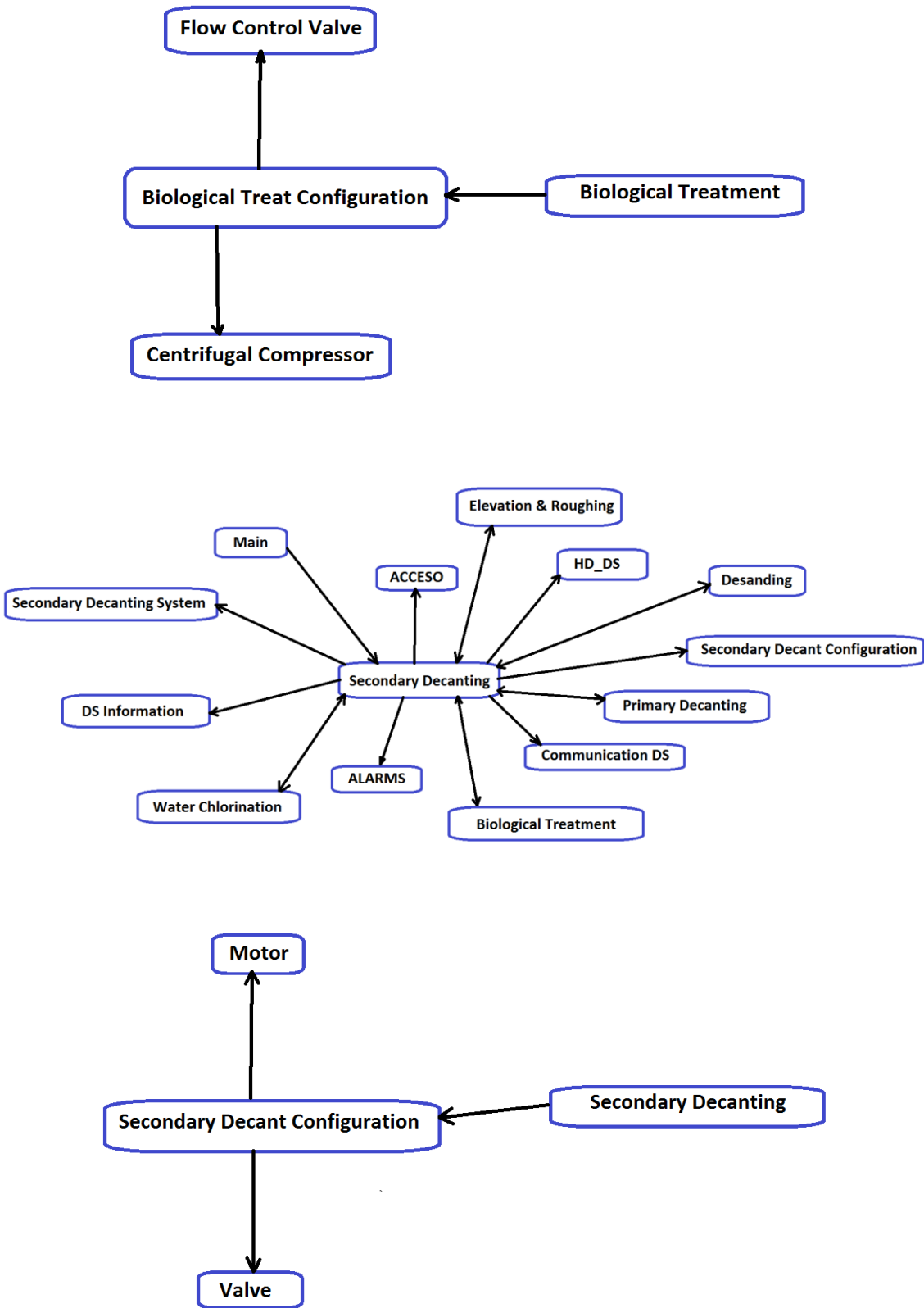
ANEXO II. PANTALLAS DE SCADA. ÁRBOL DE NAVEGACIÓN

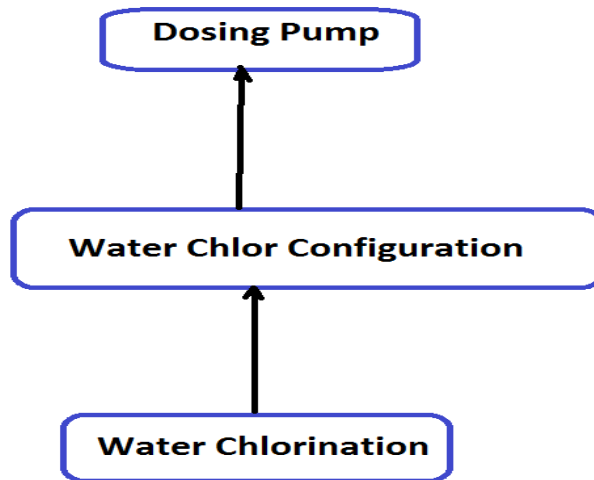
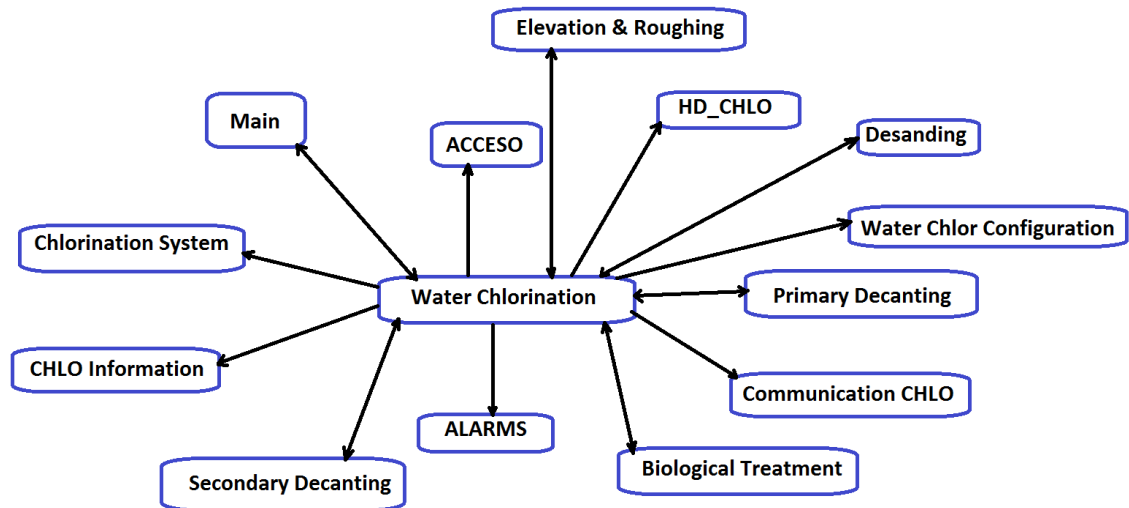








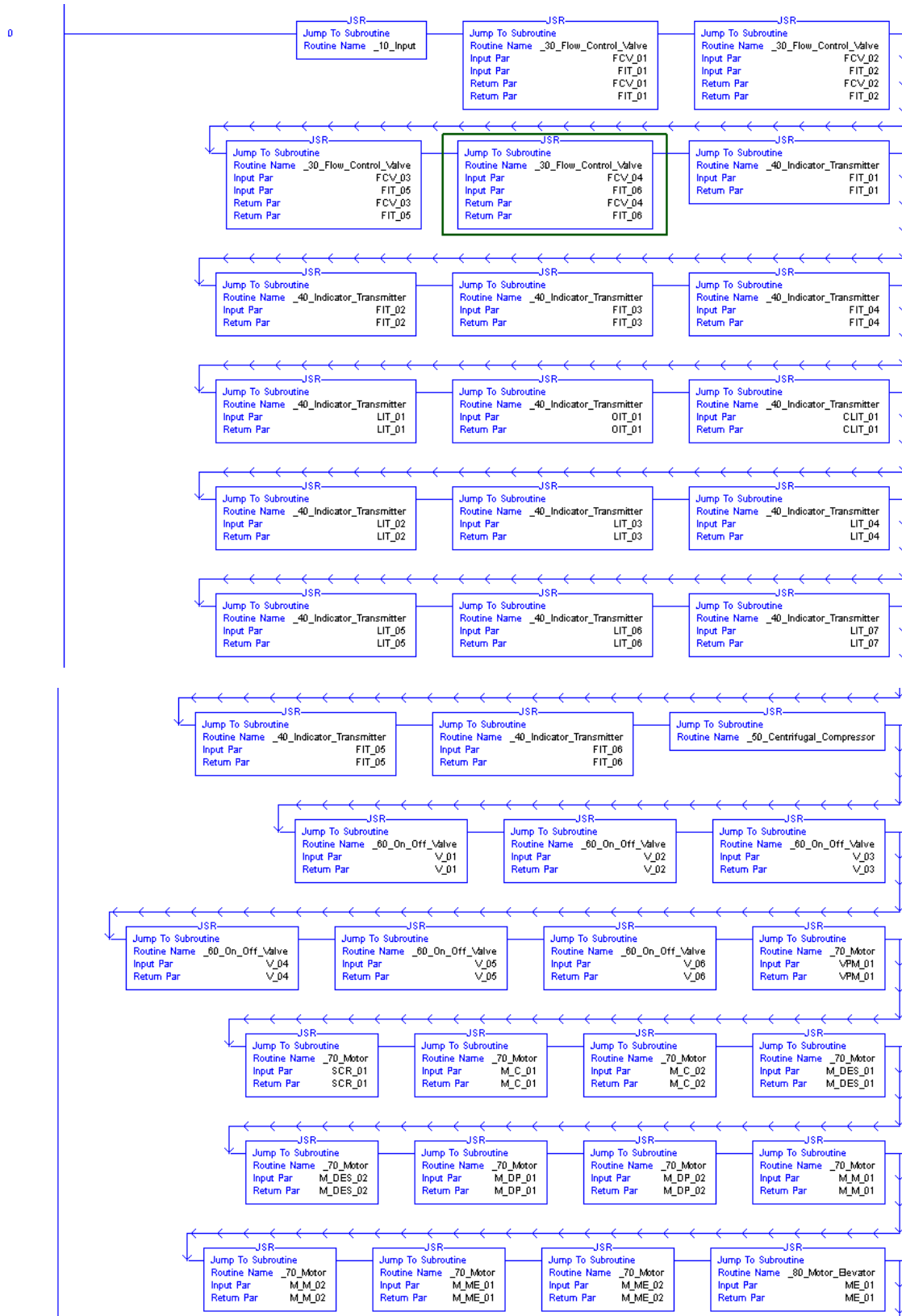


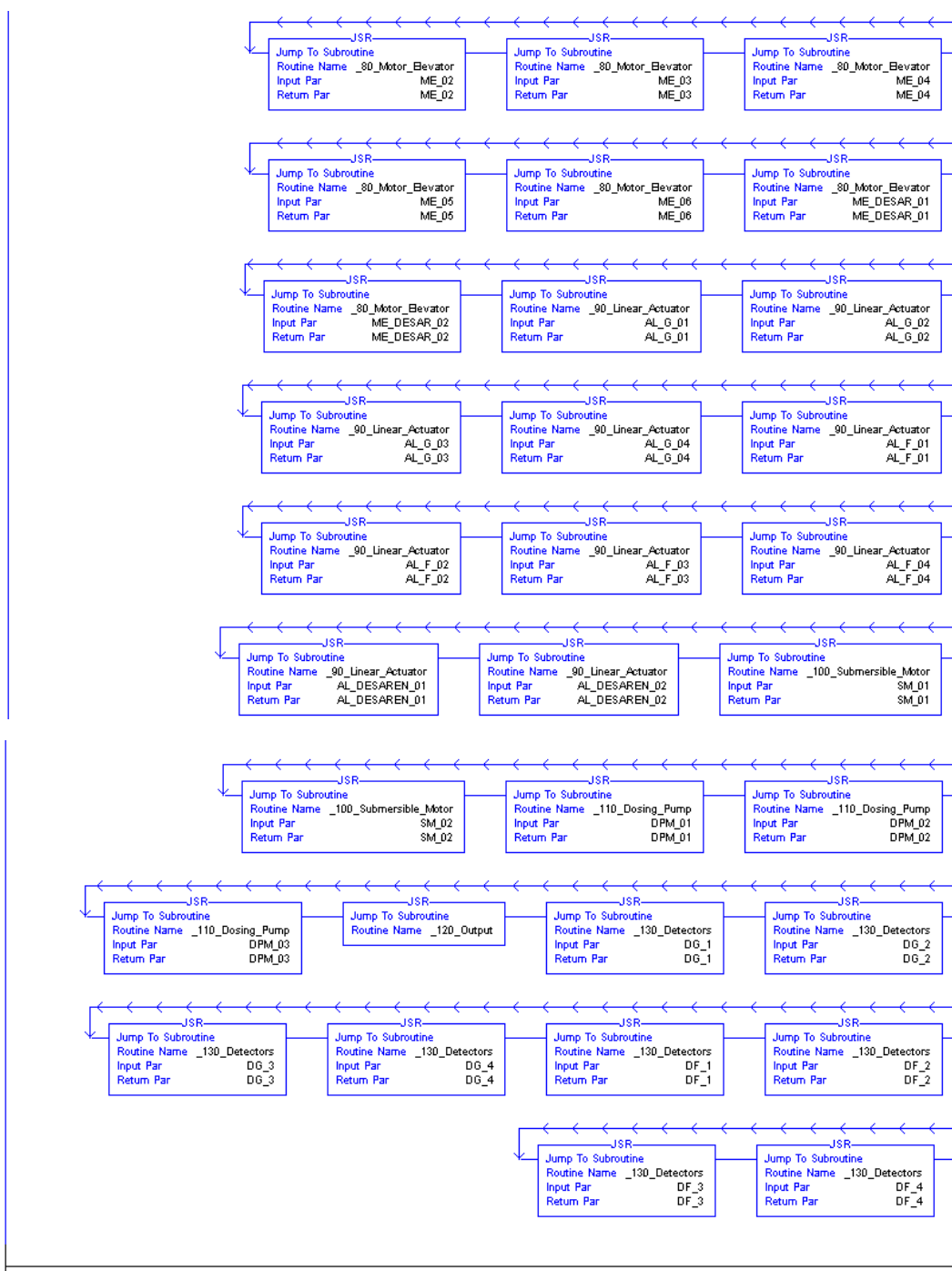


ANEXO III. PROGRAMA DEL PLC

PROGRAMA MAINPROGRAM

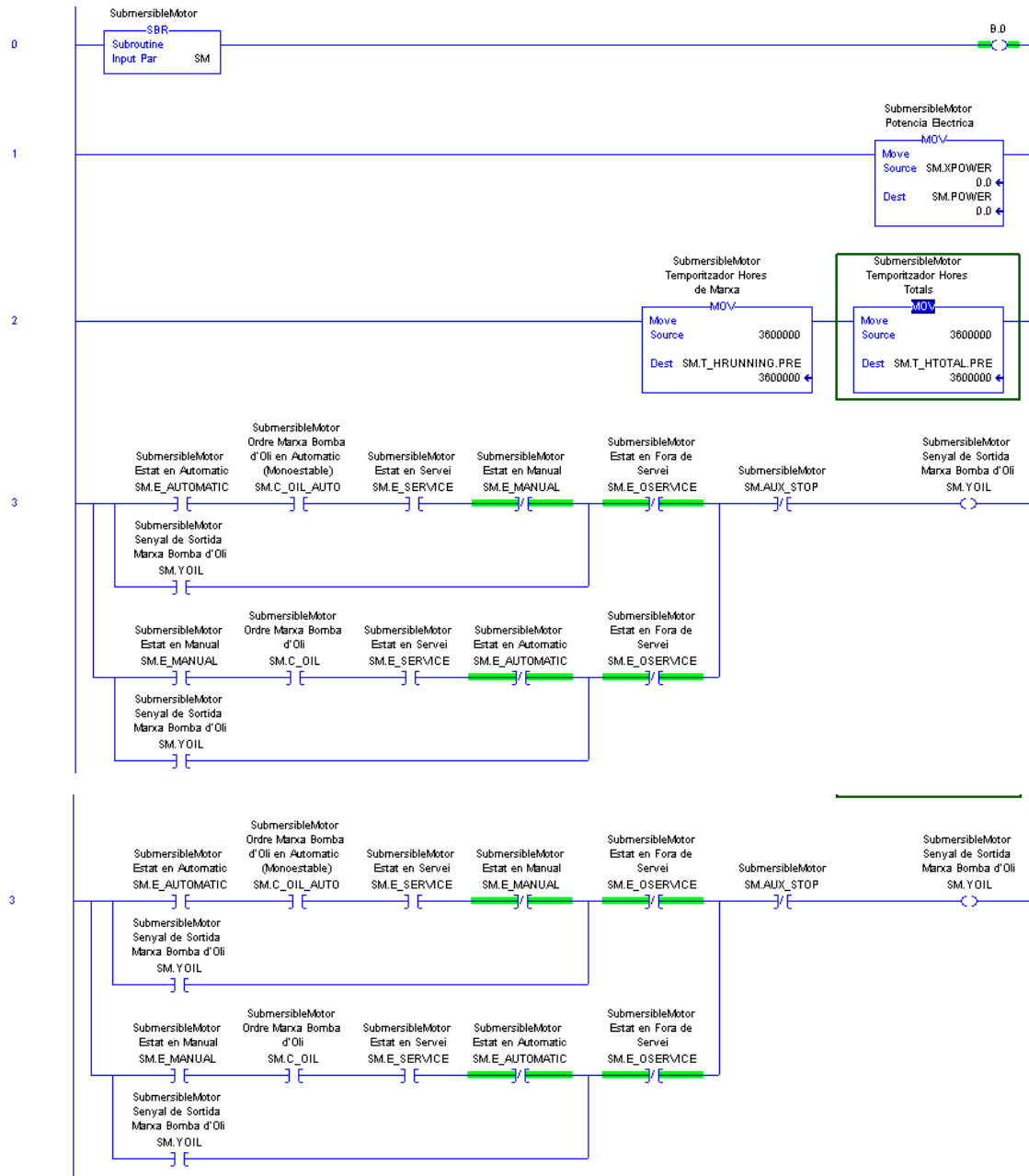
Rutina _00_MainRoutine

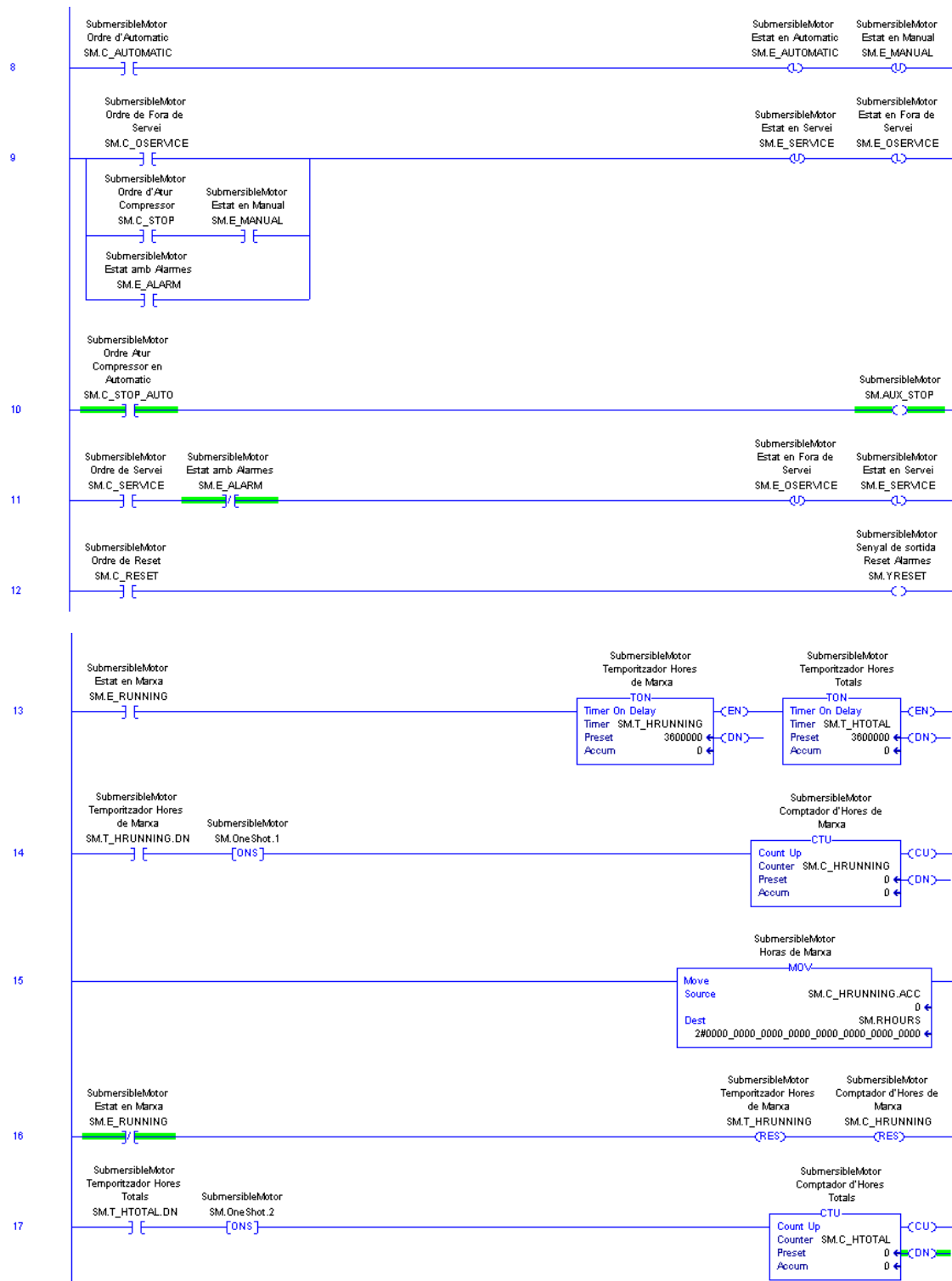


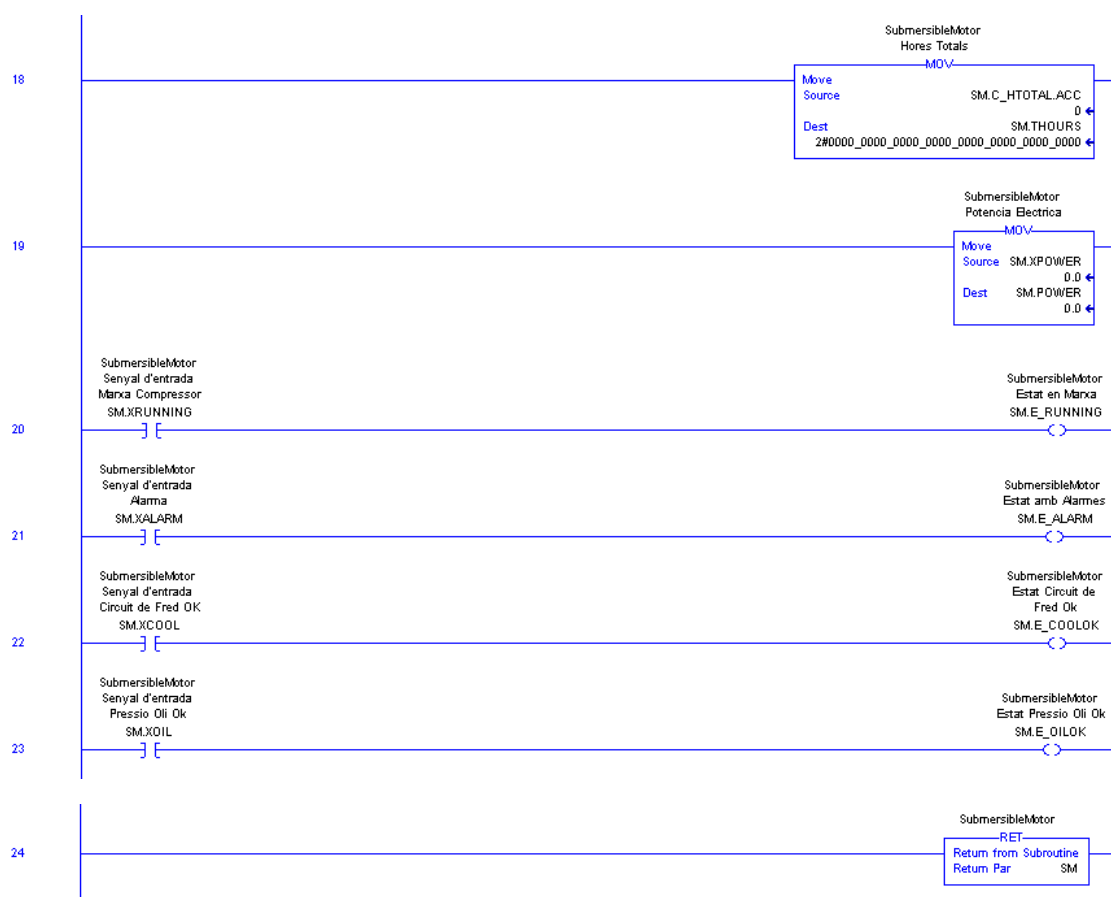


(End)

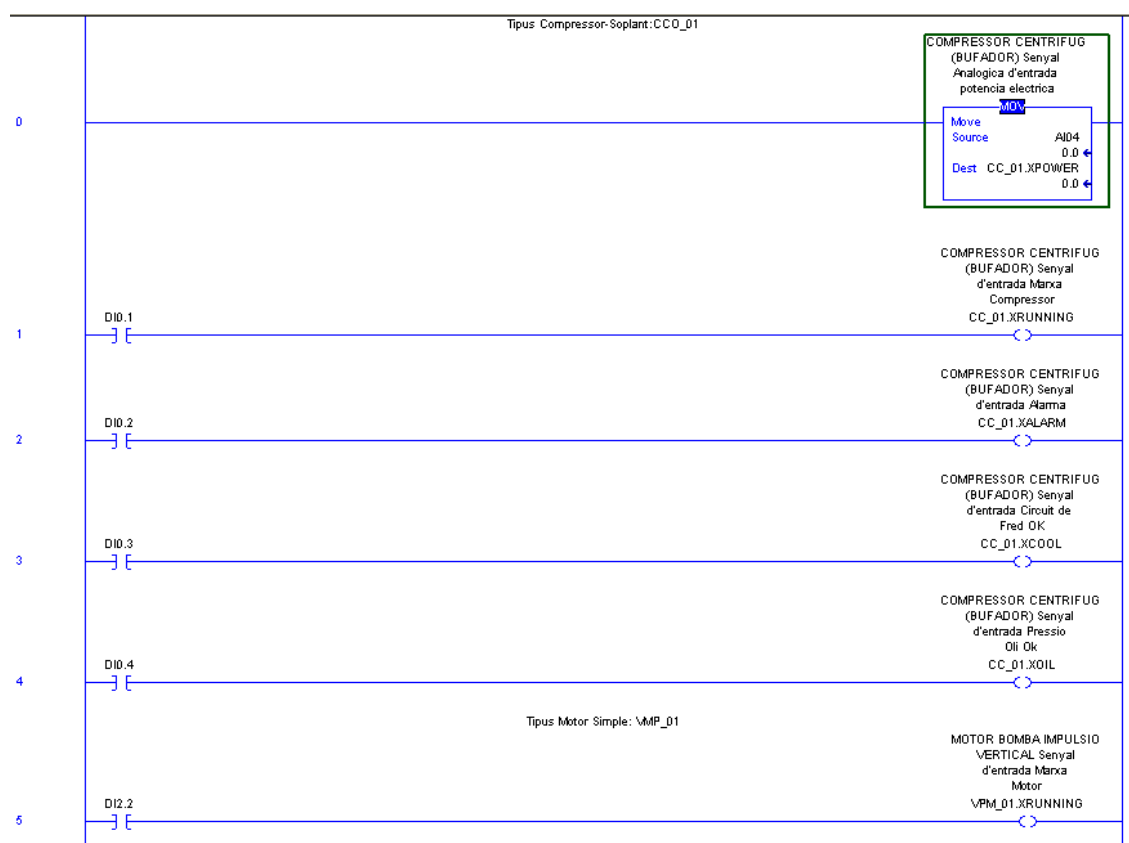
Rutina _100_Submersible_Motor



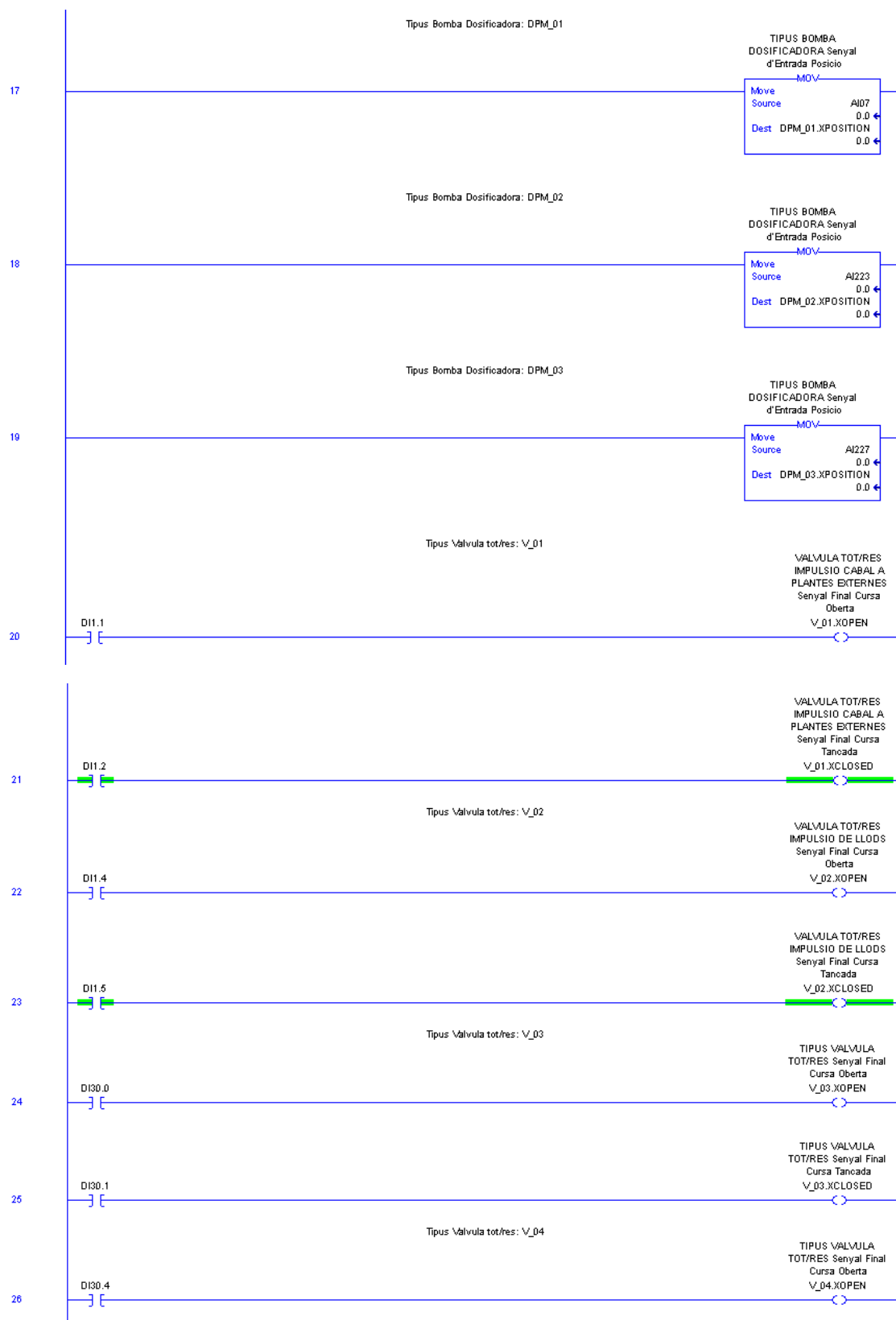


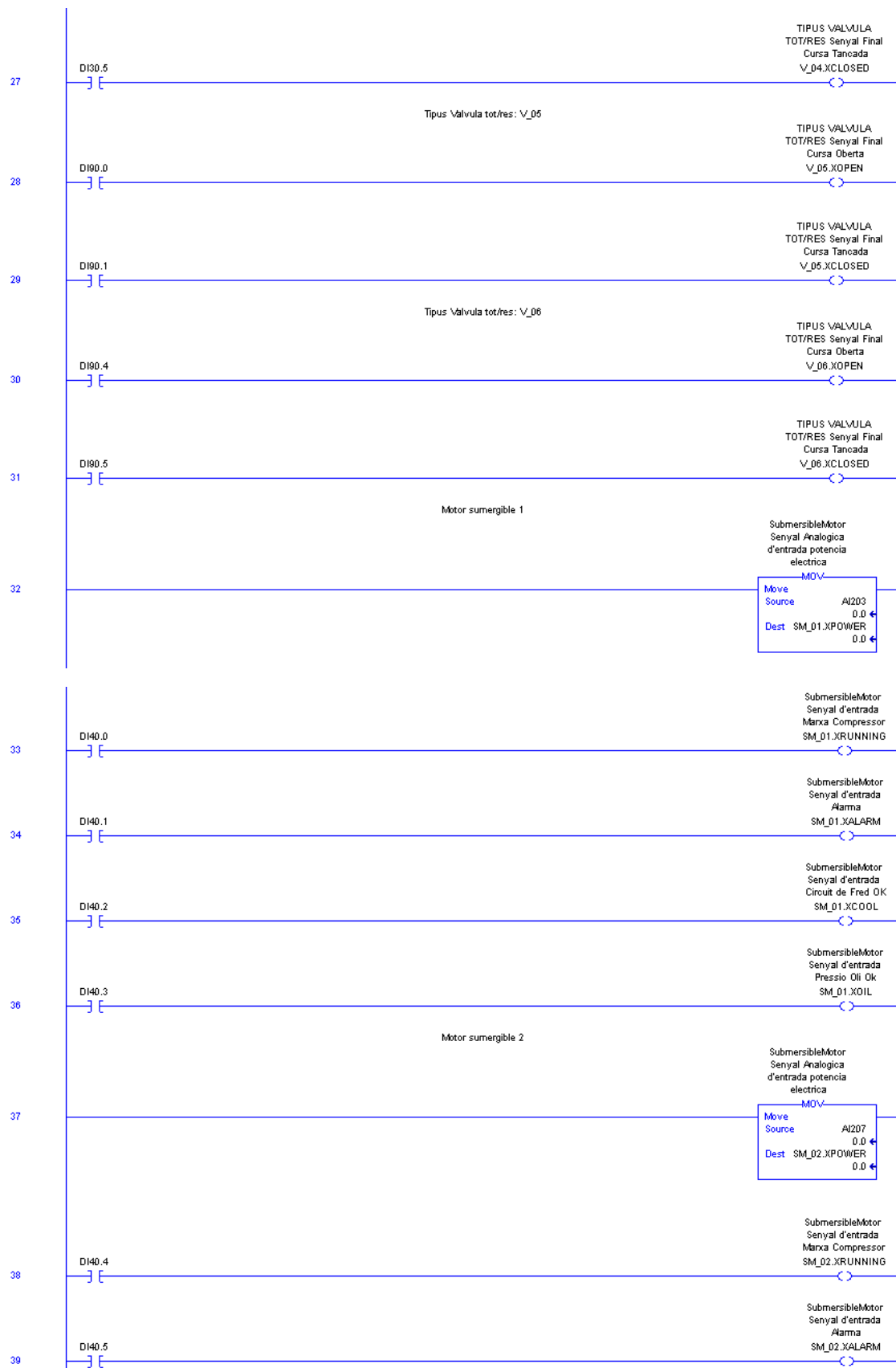


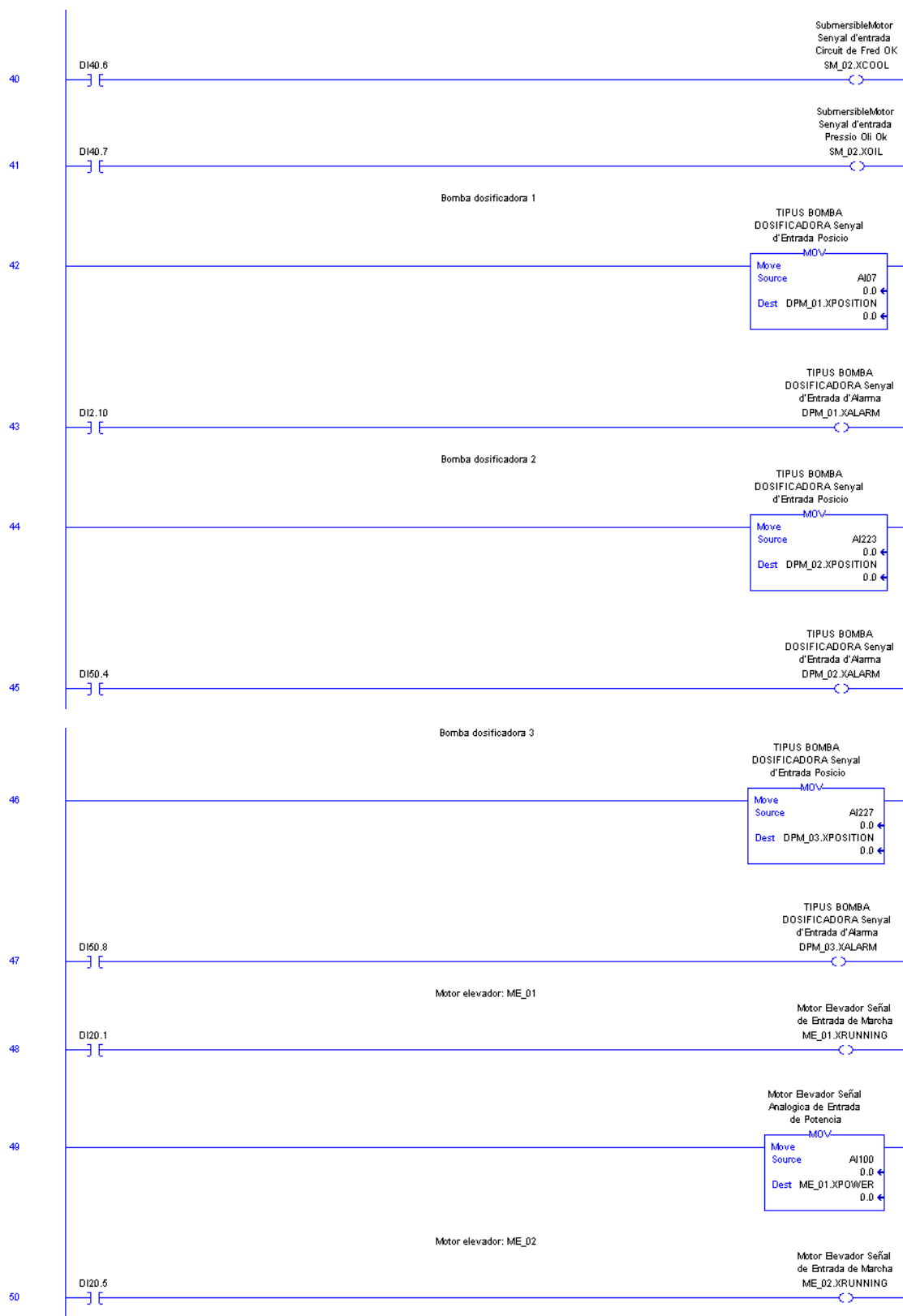
Rutina _10_Input

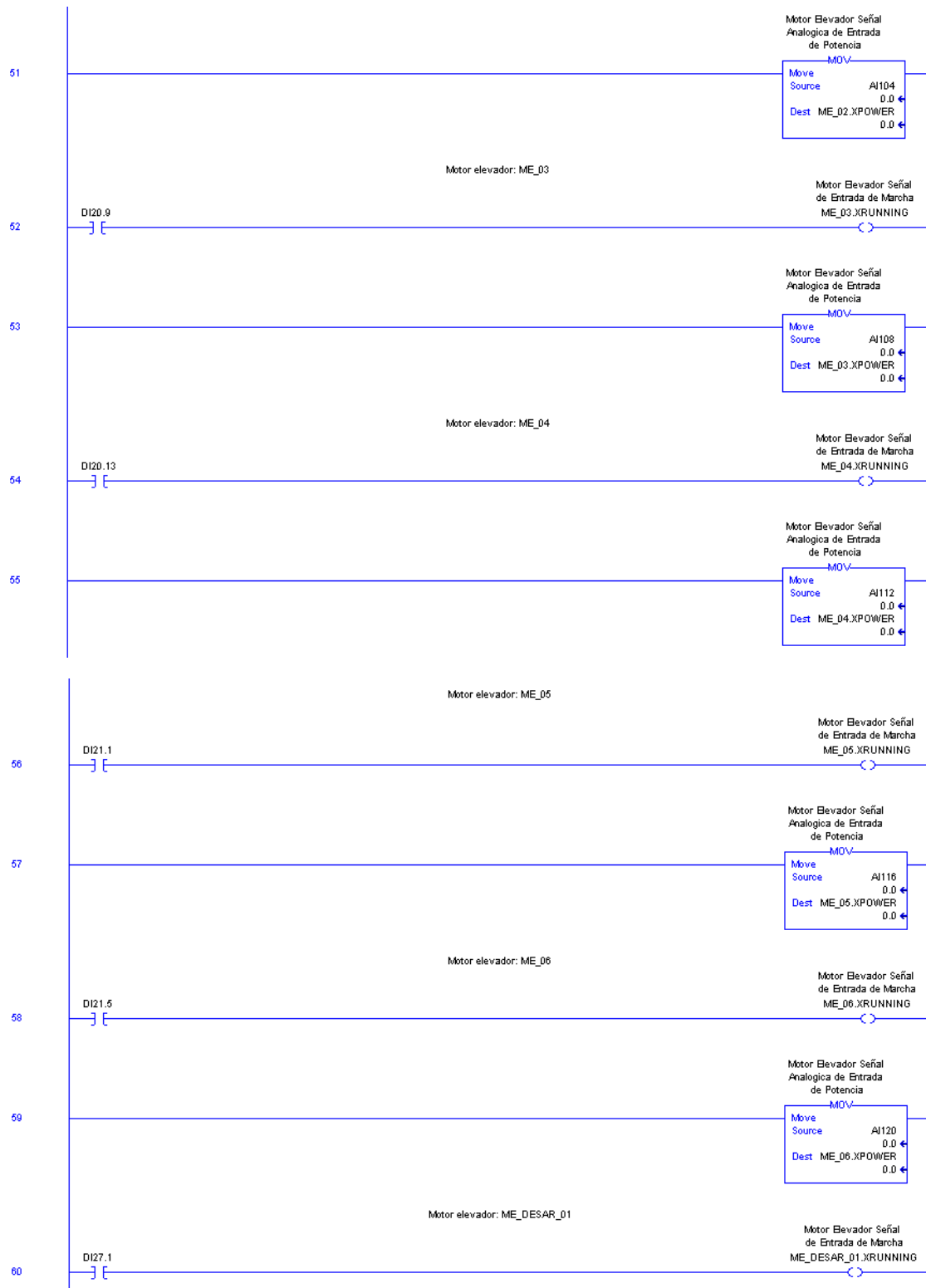


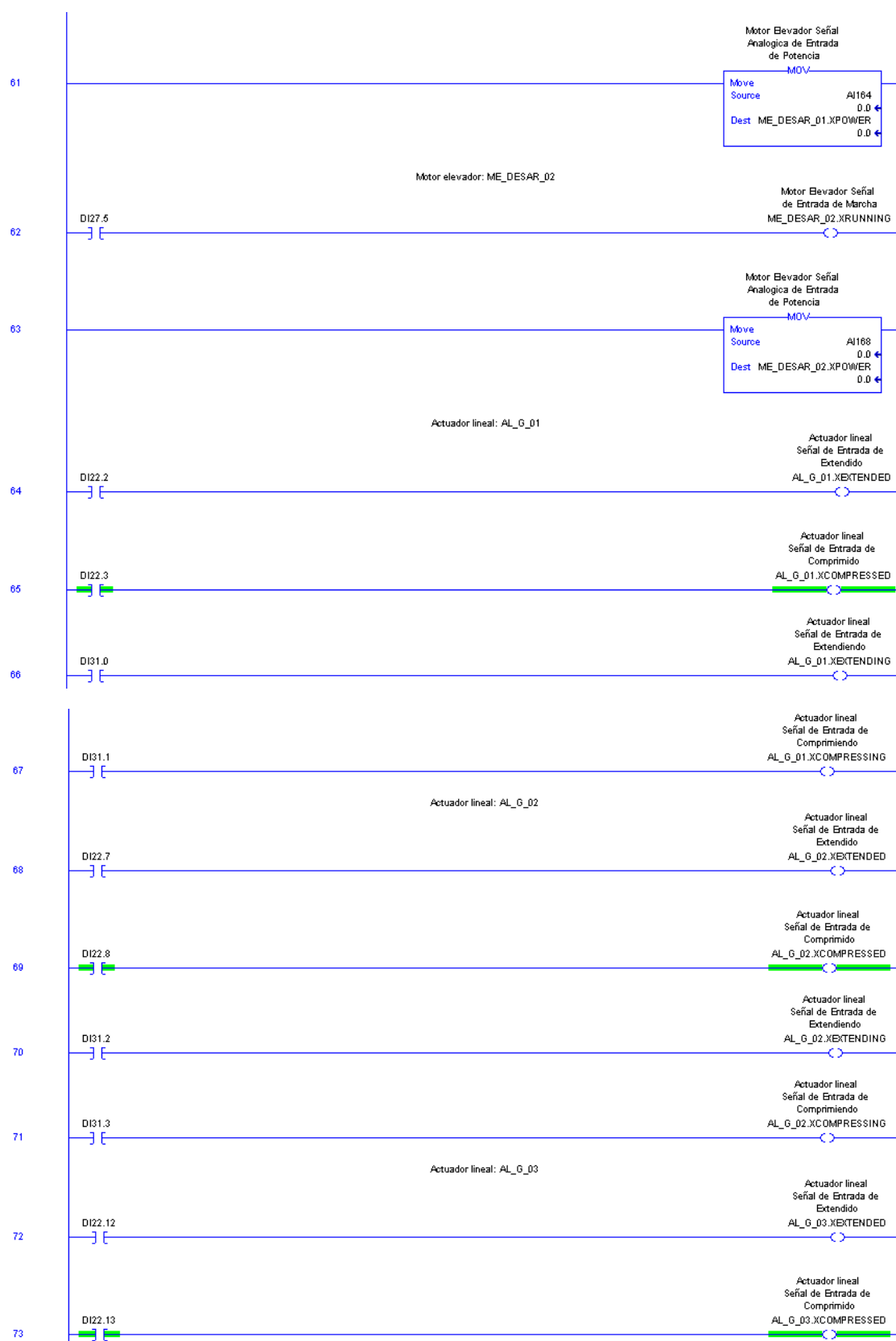


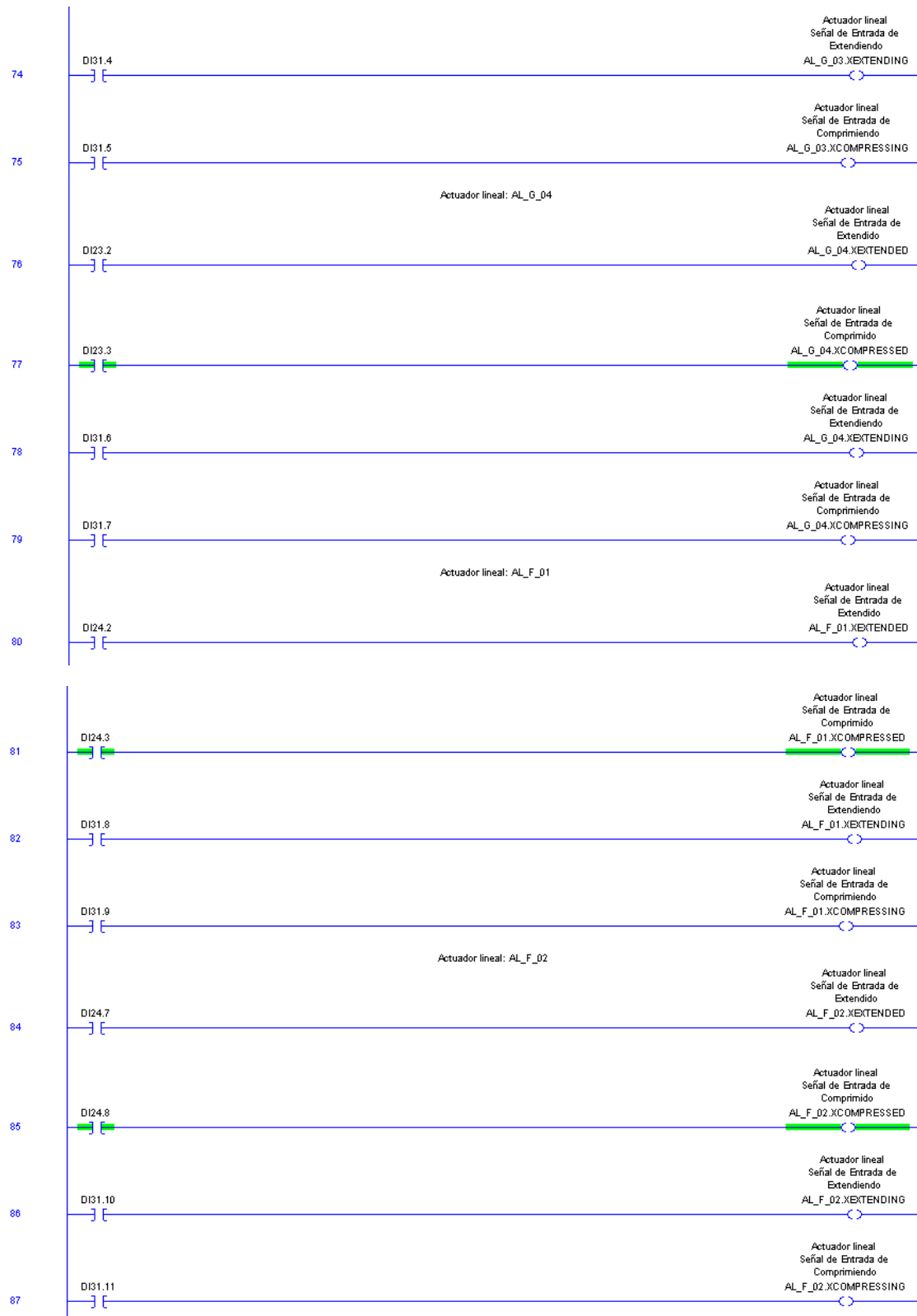


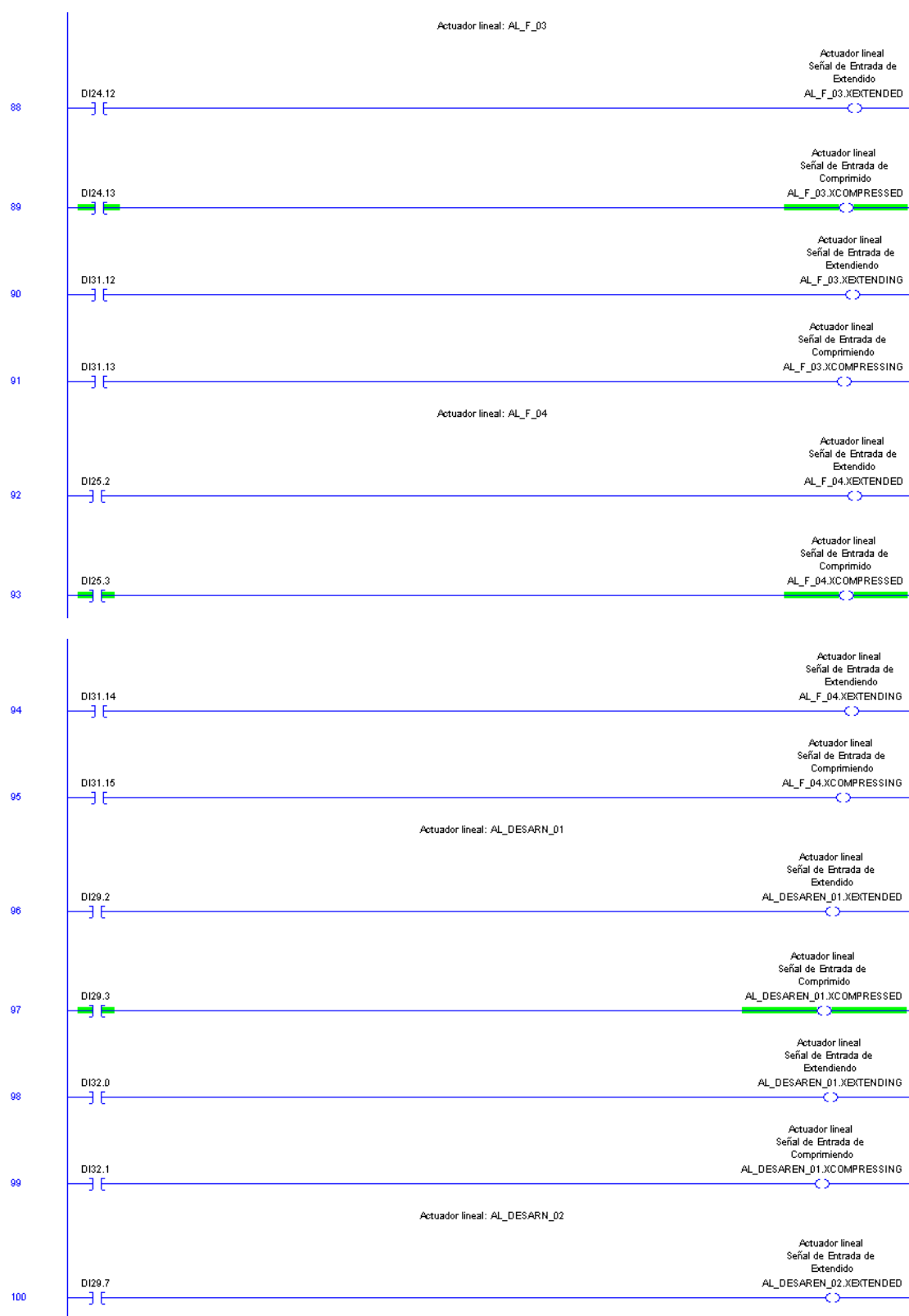


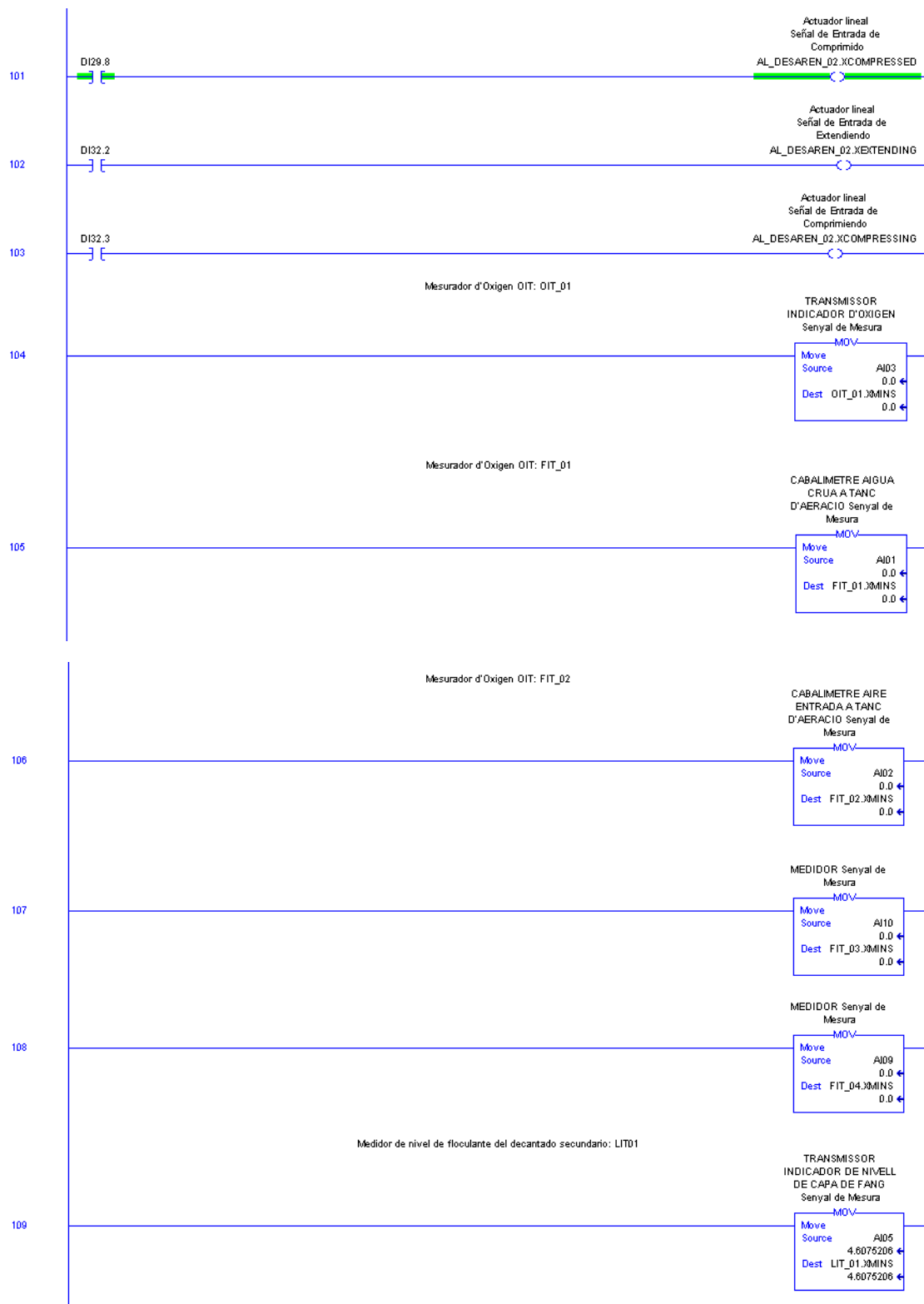


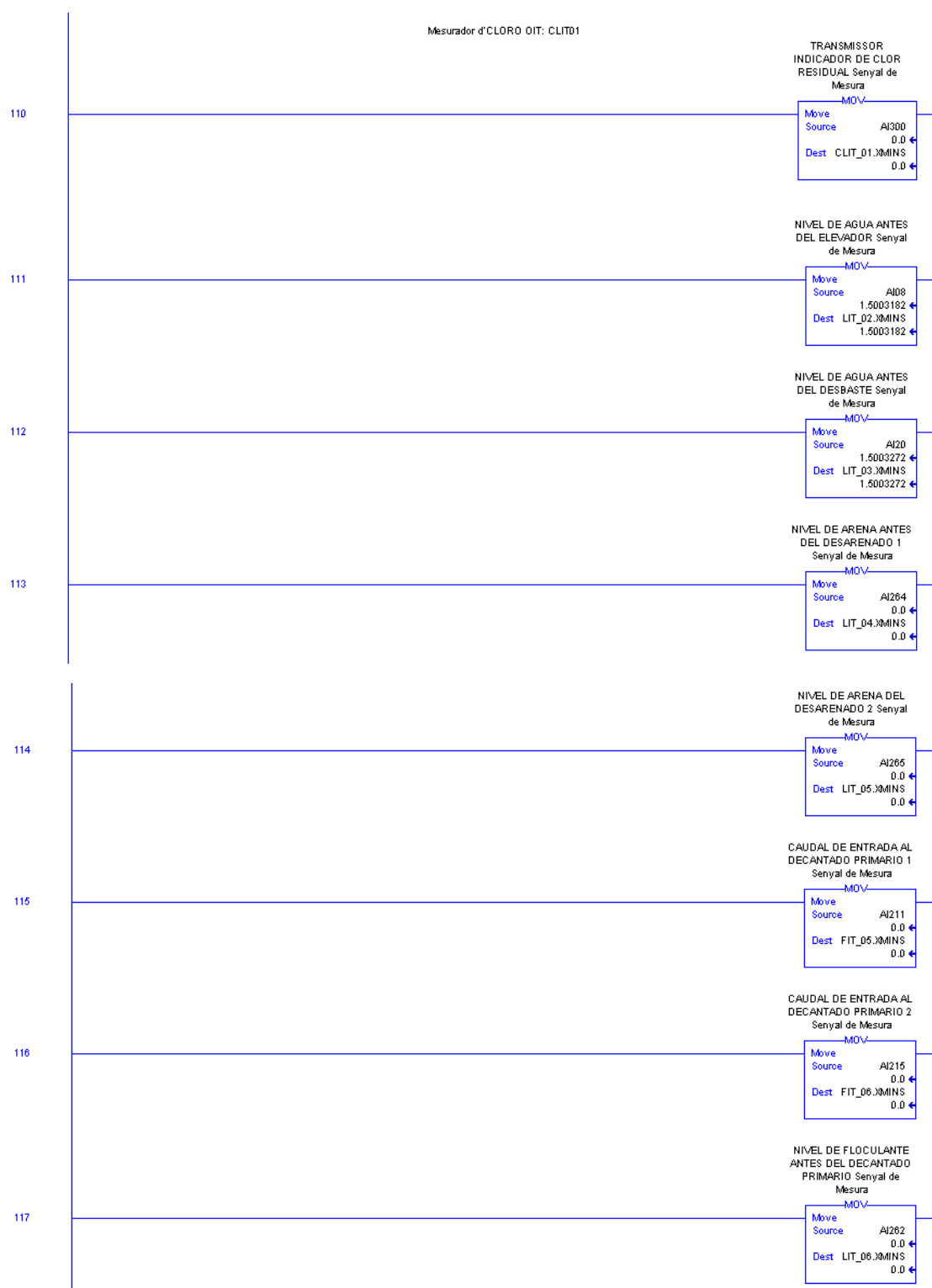






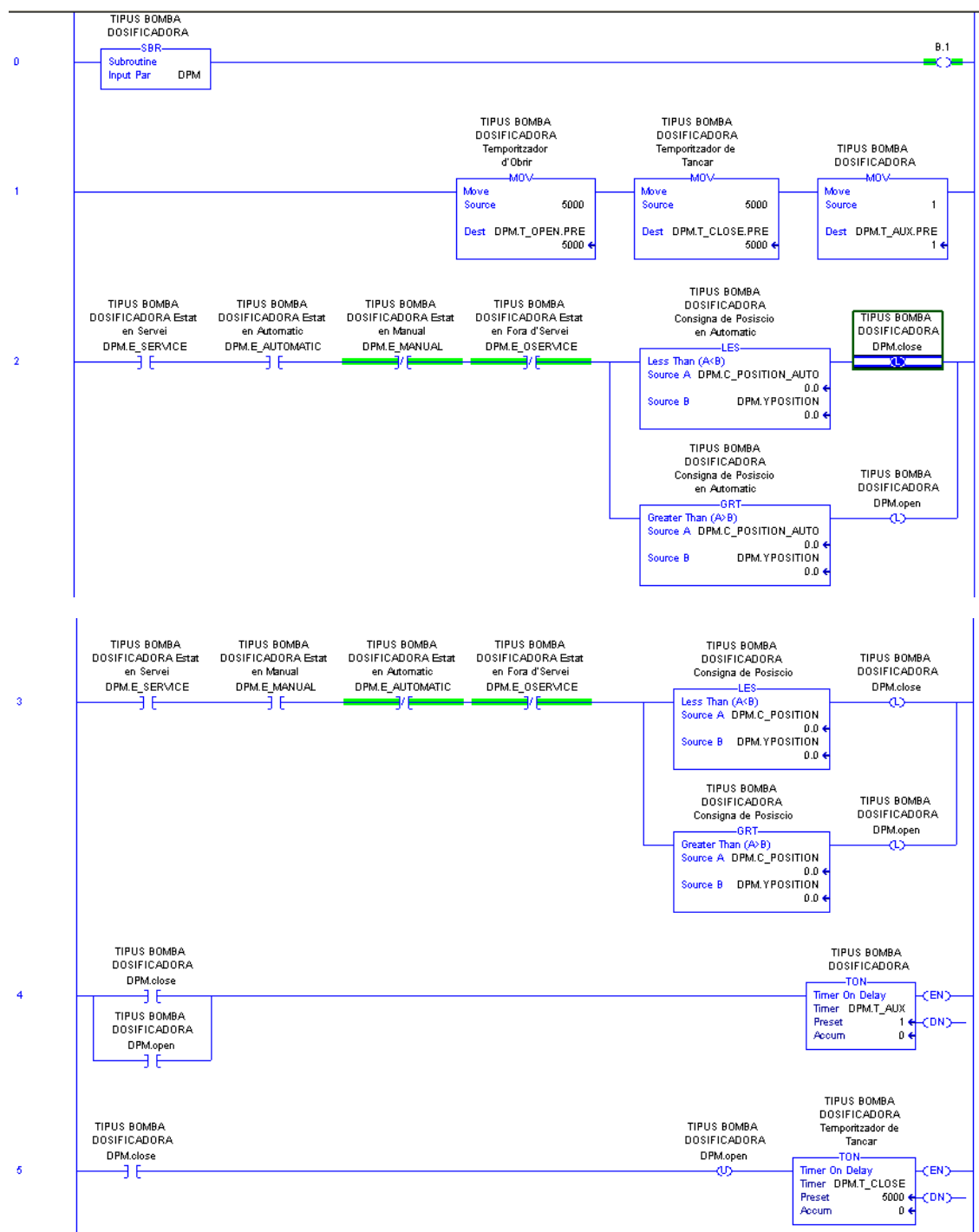


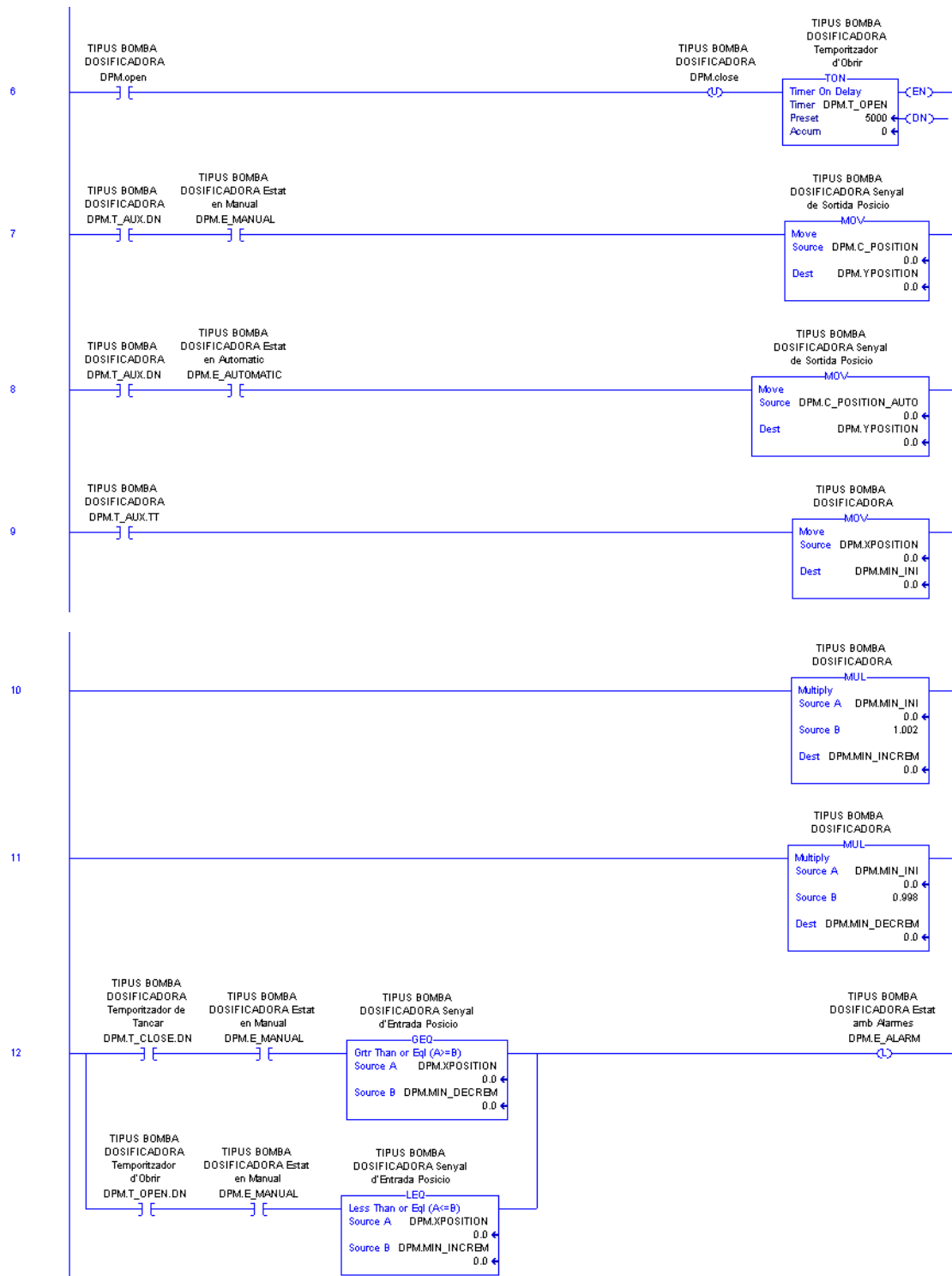


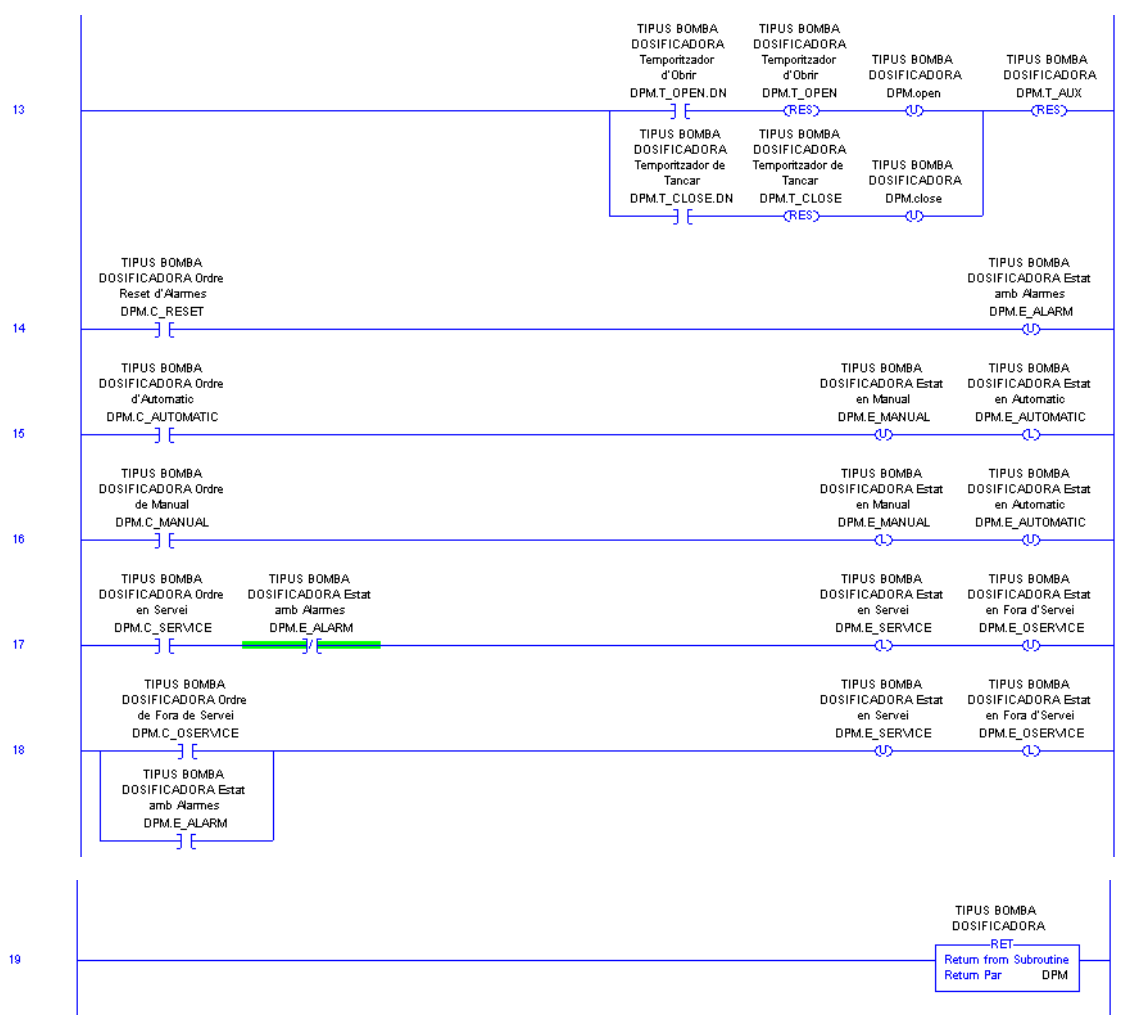




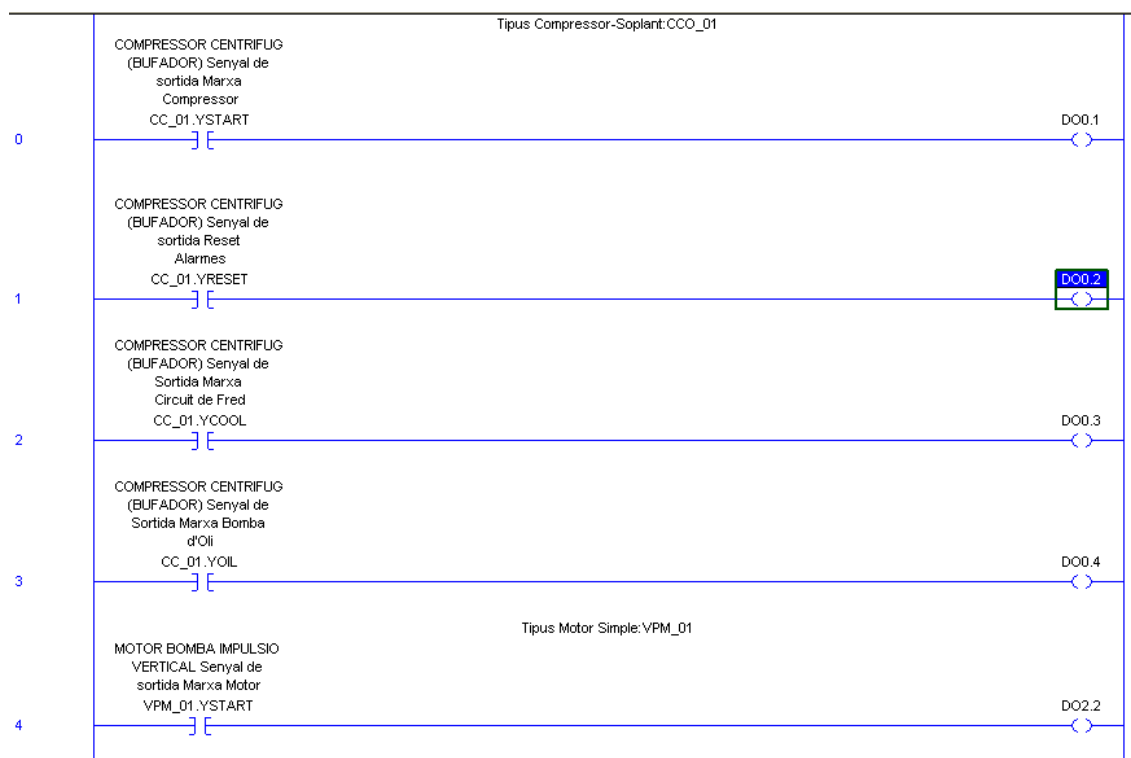
Rutina _110_Dosing_Pump

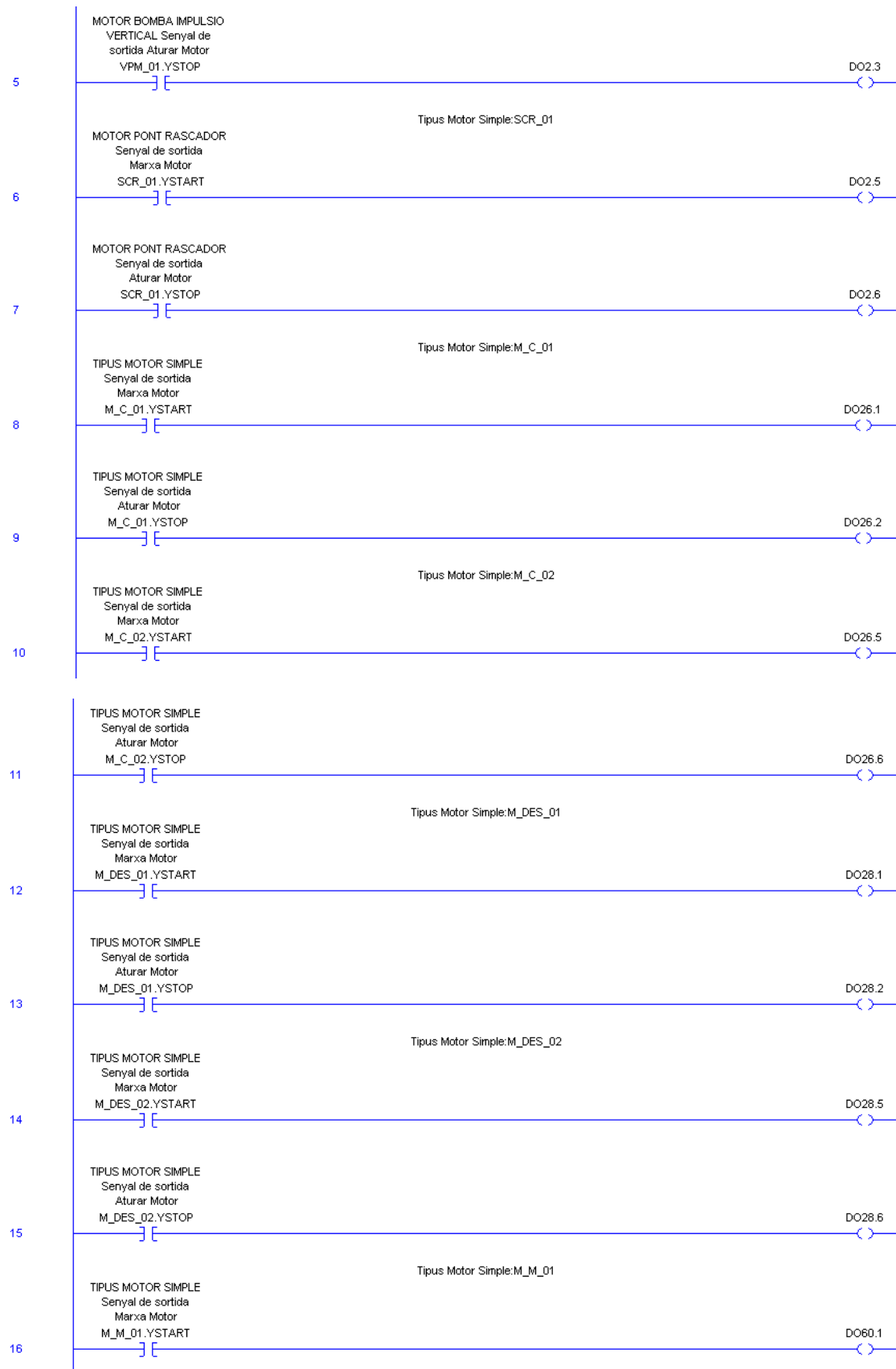






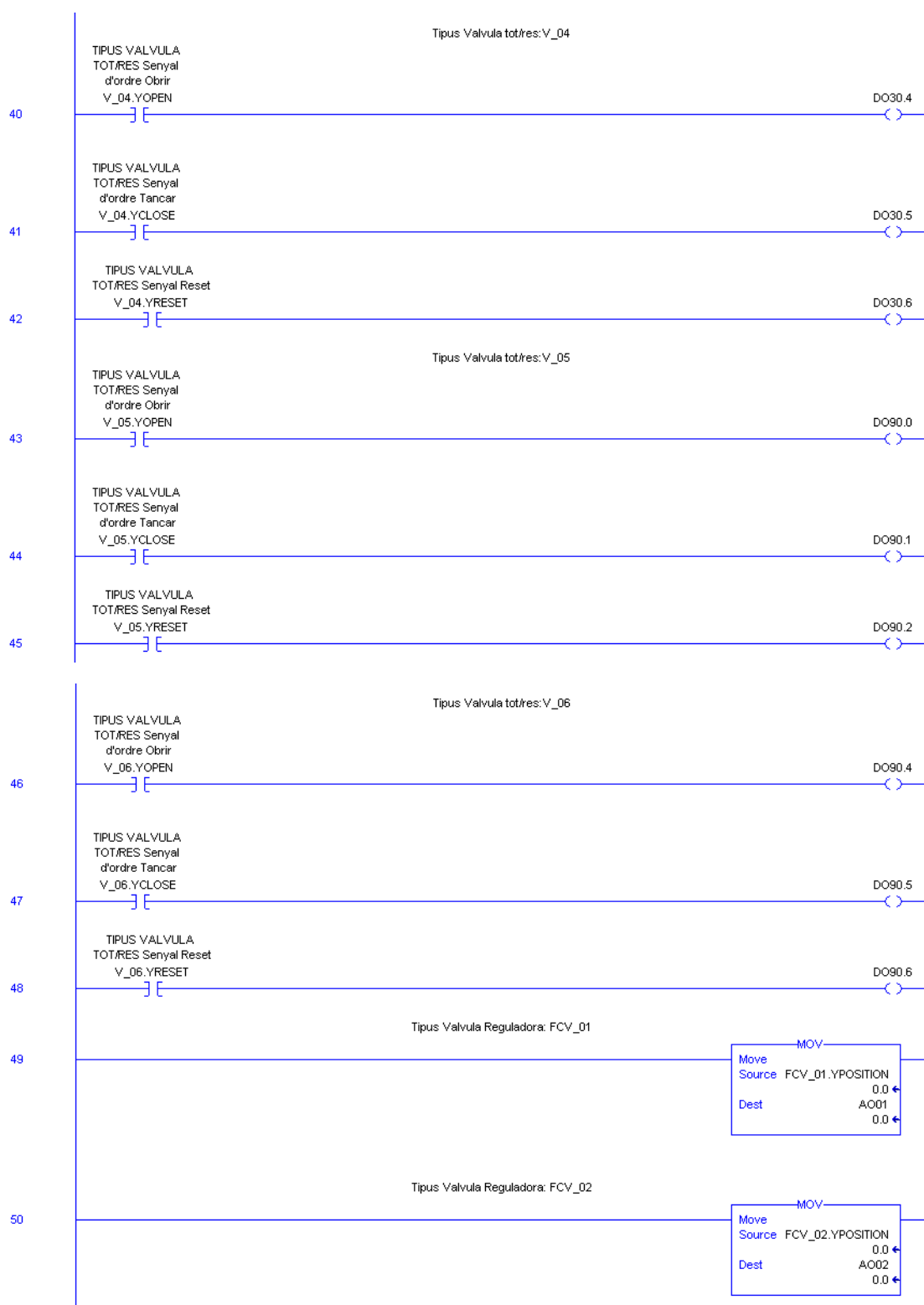
Rutina _120_Output

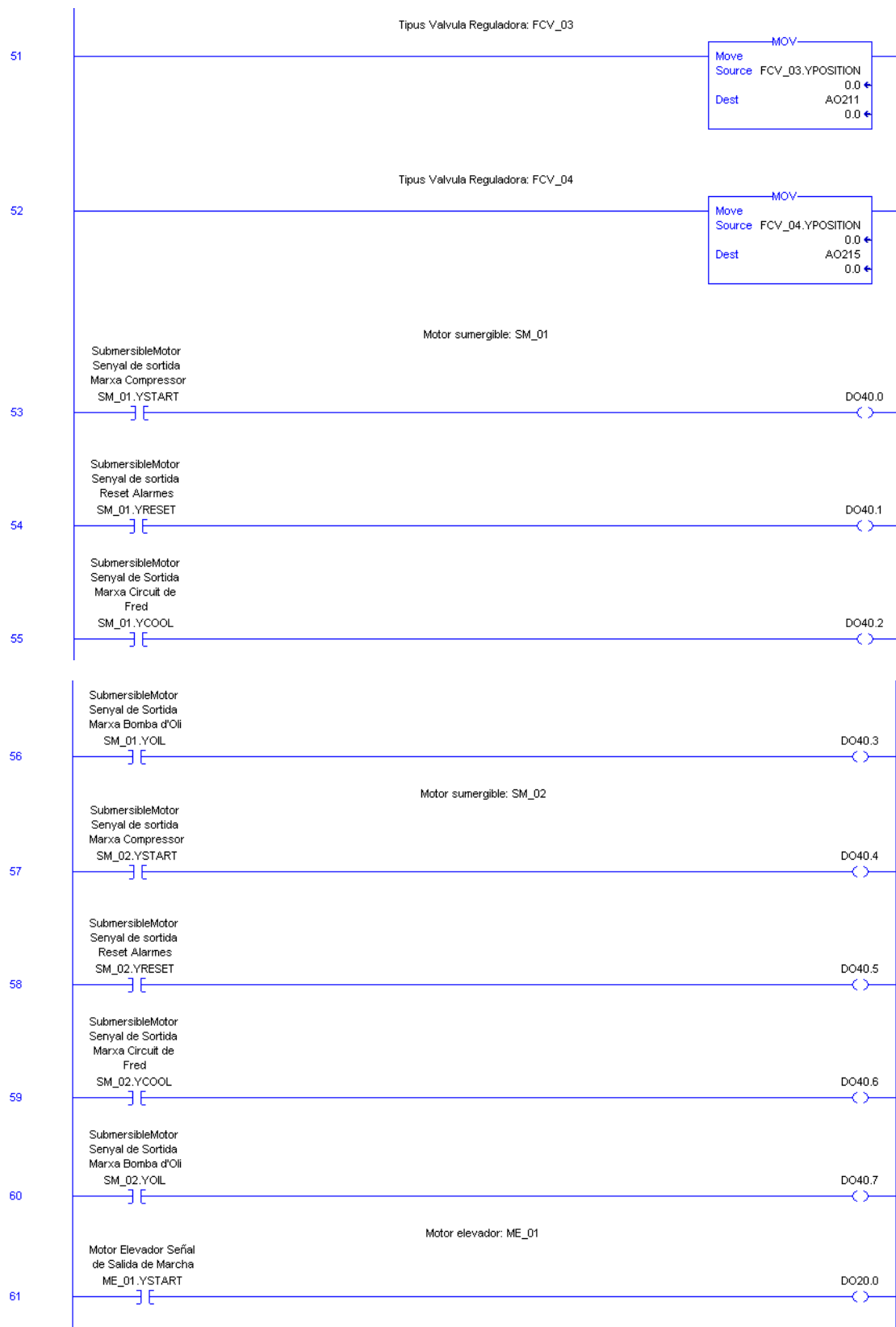


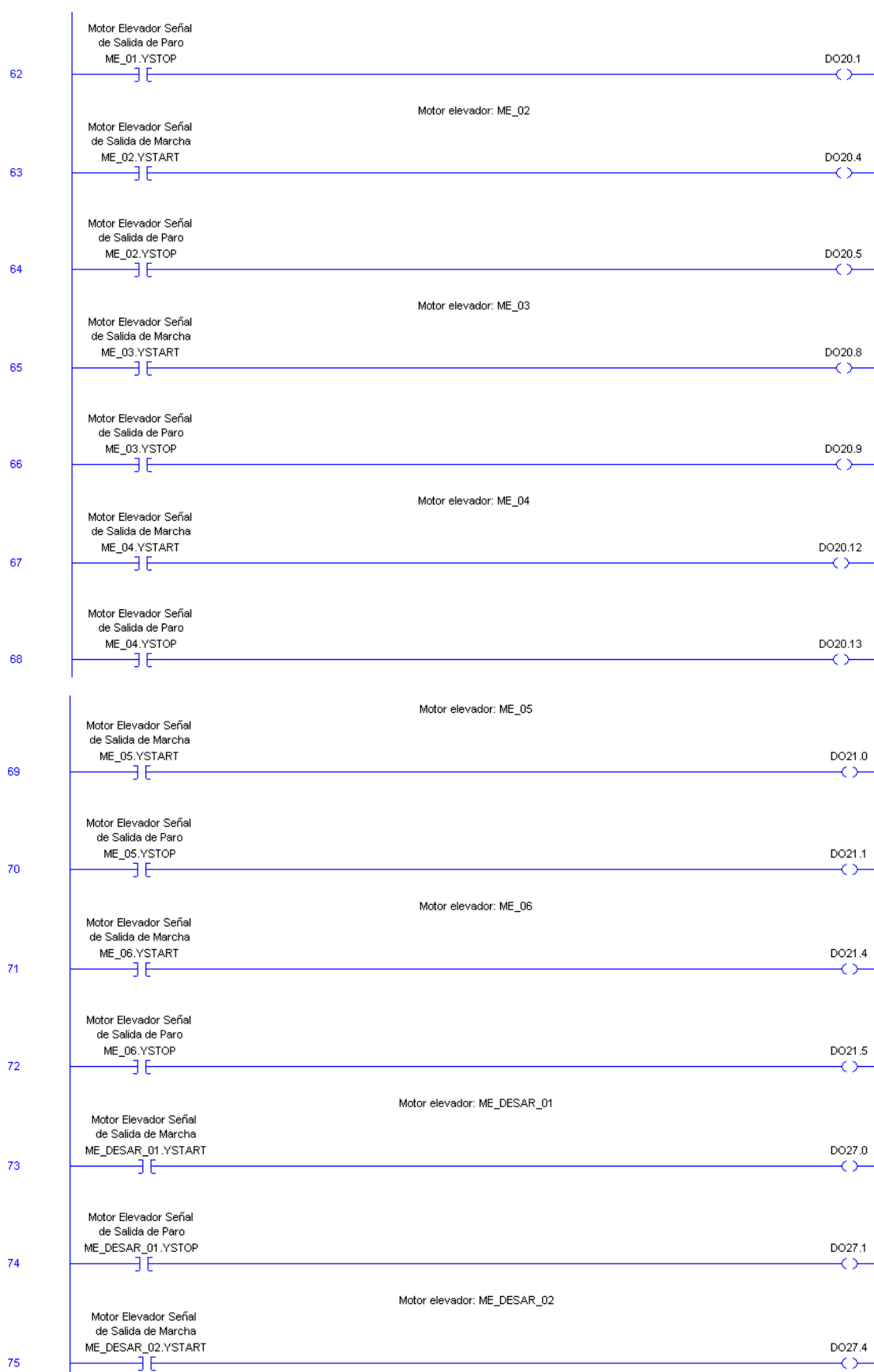


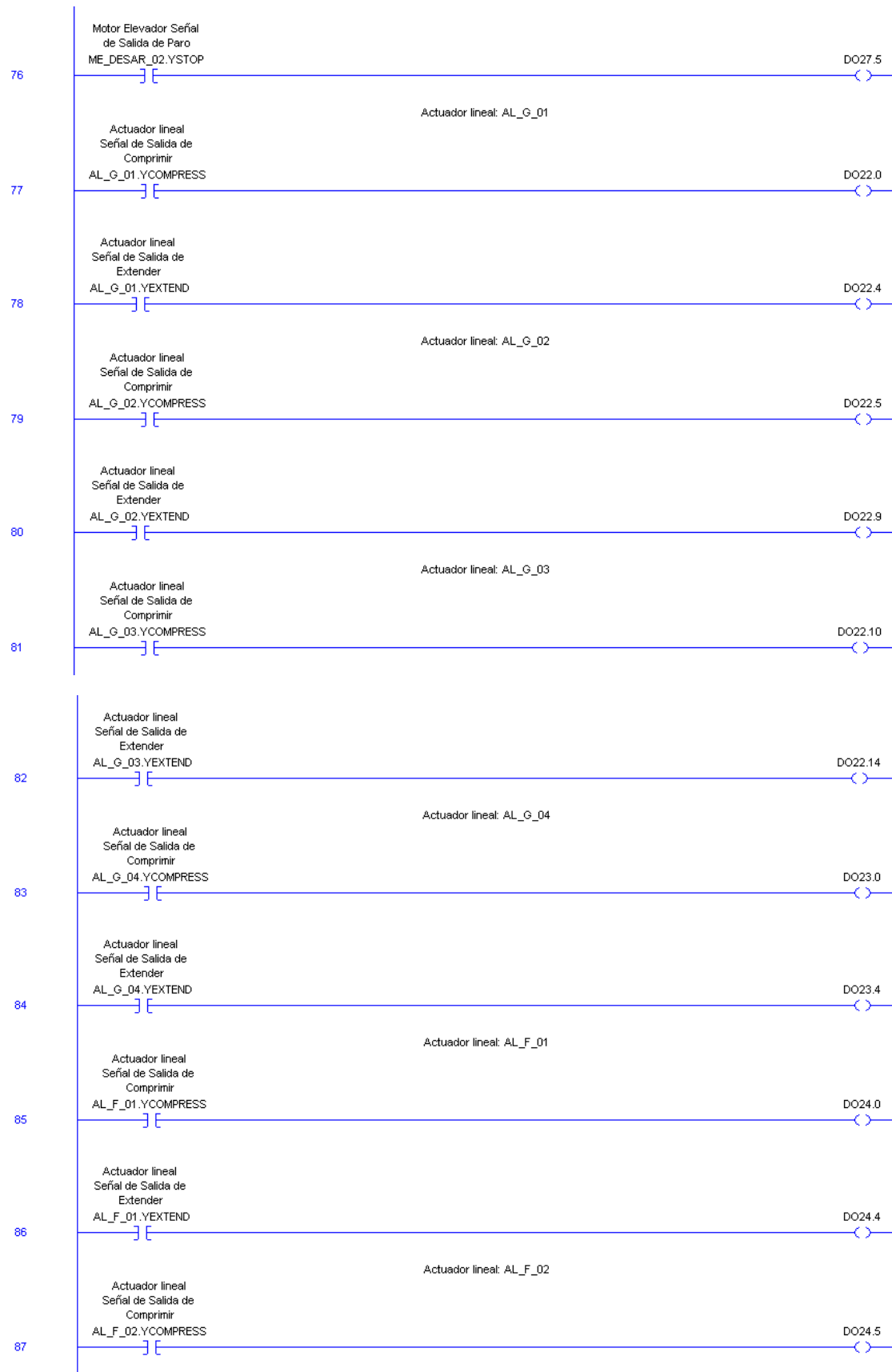


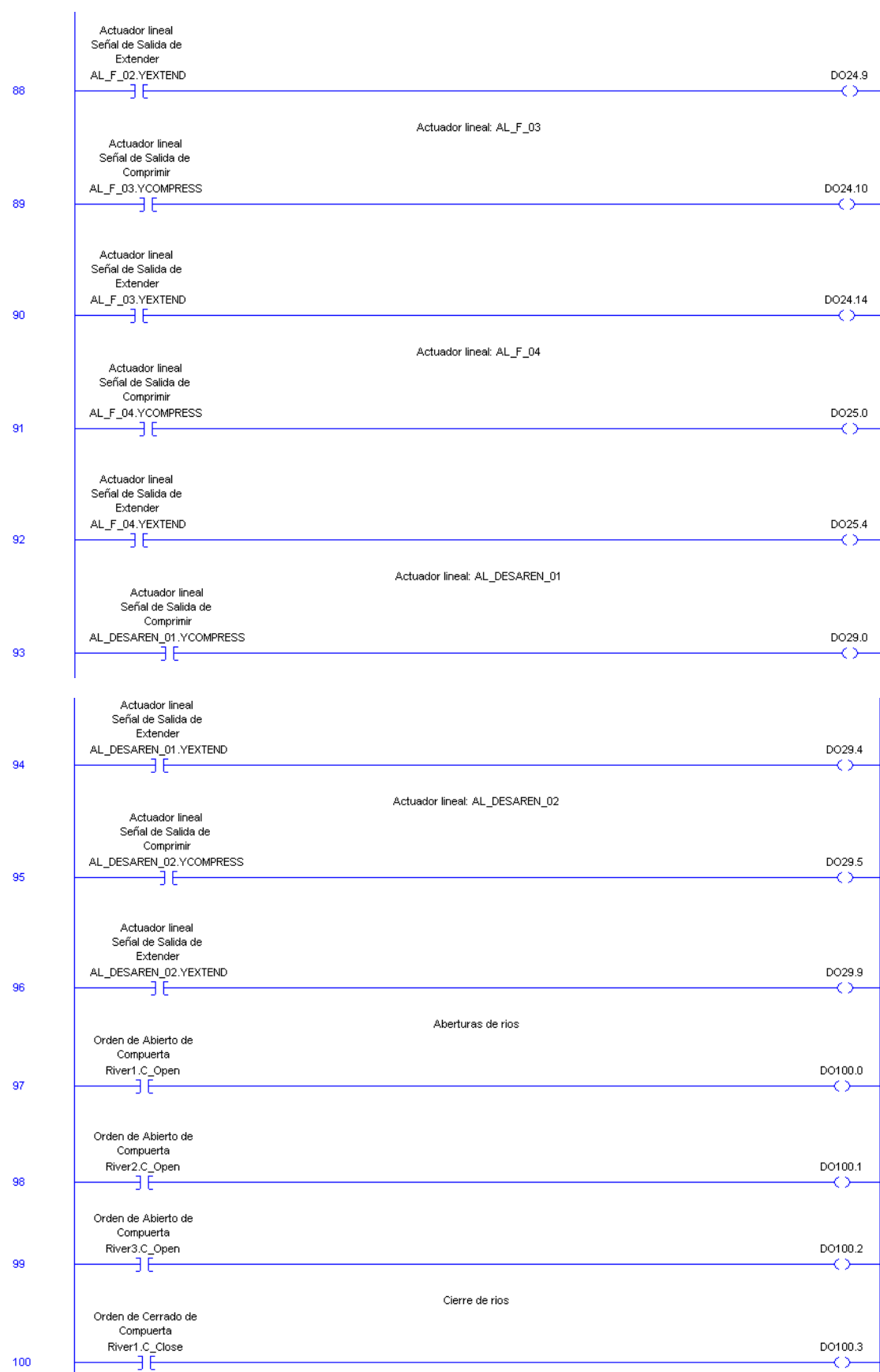


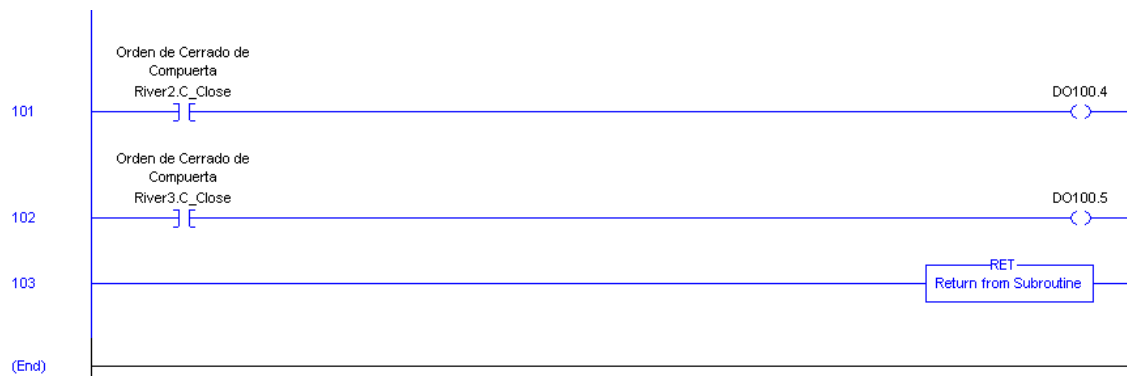




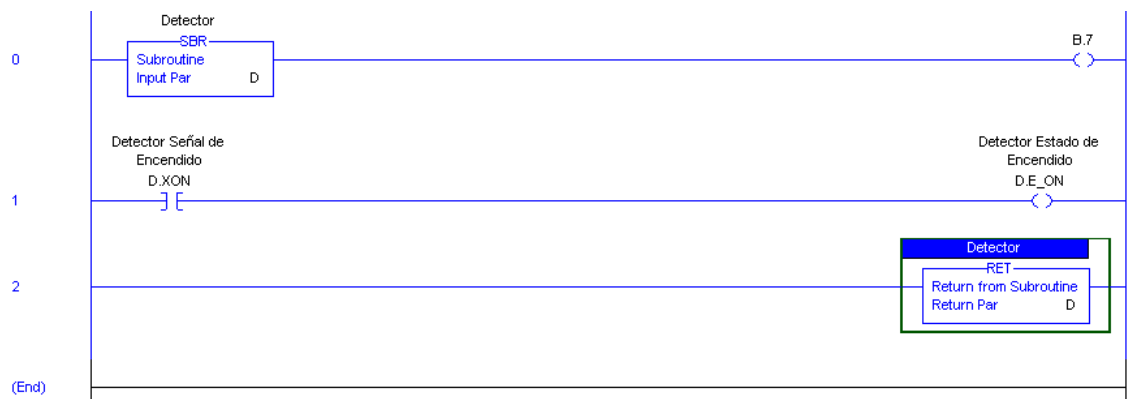




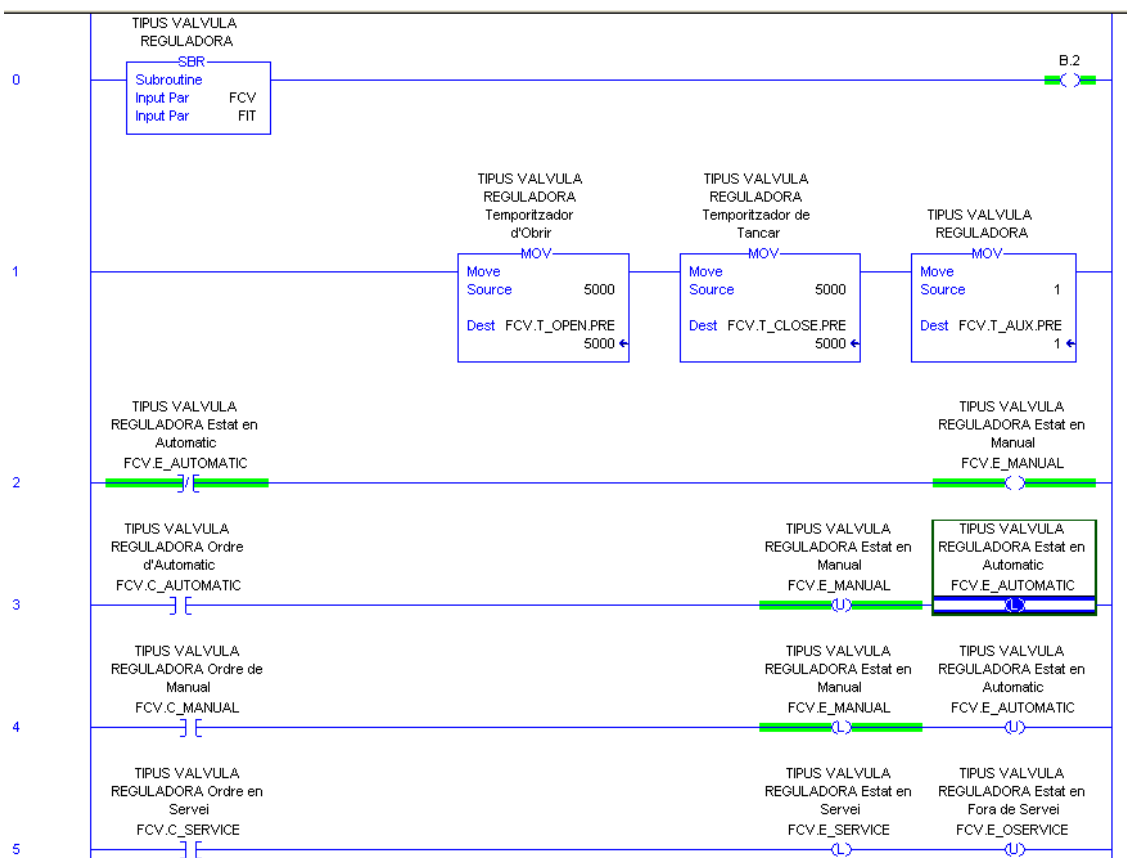


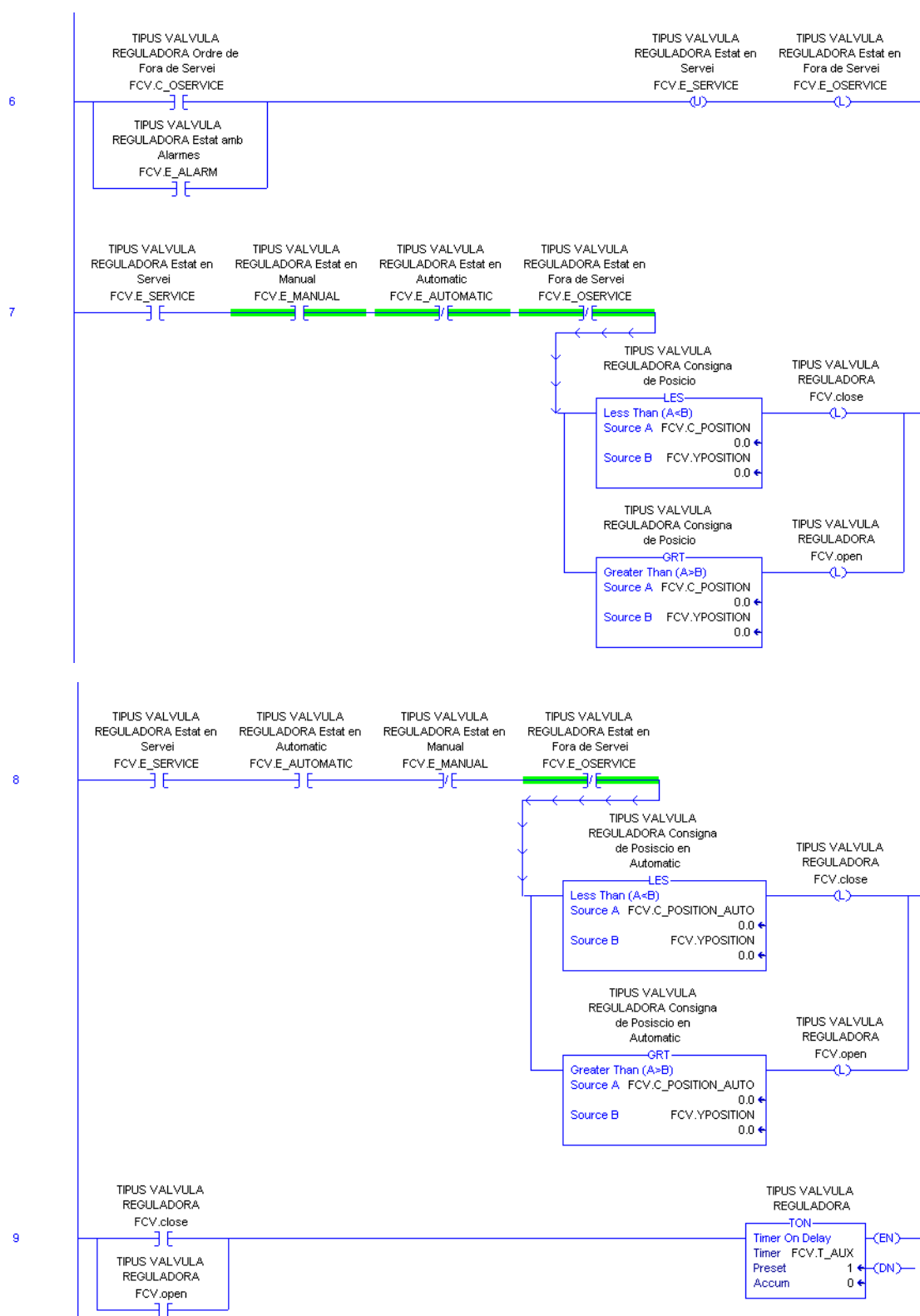


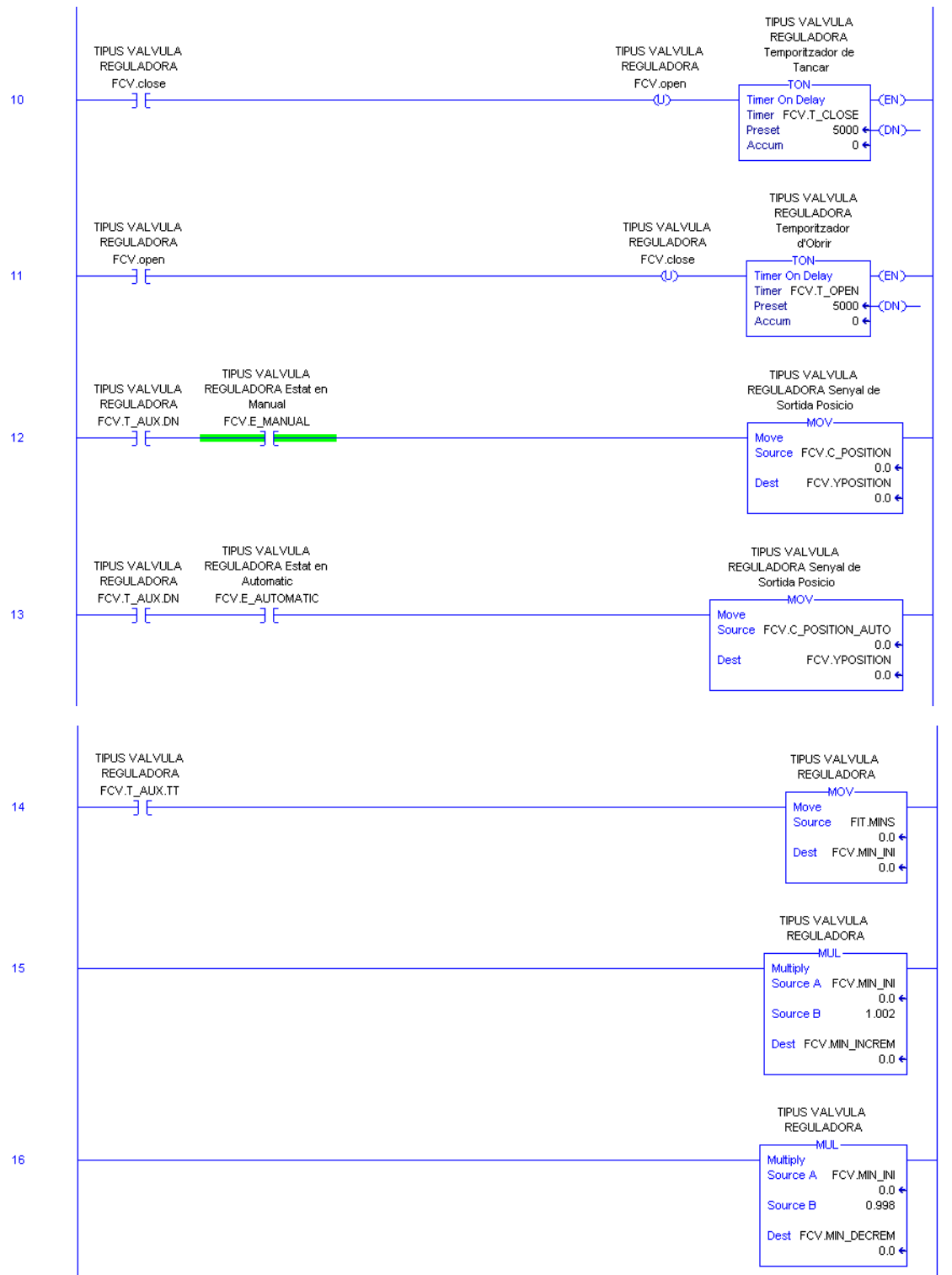
Rutina _130_Detectors

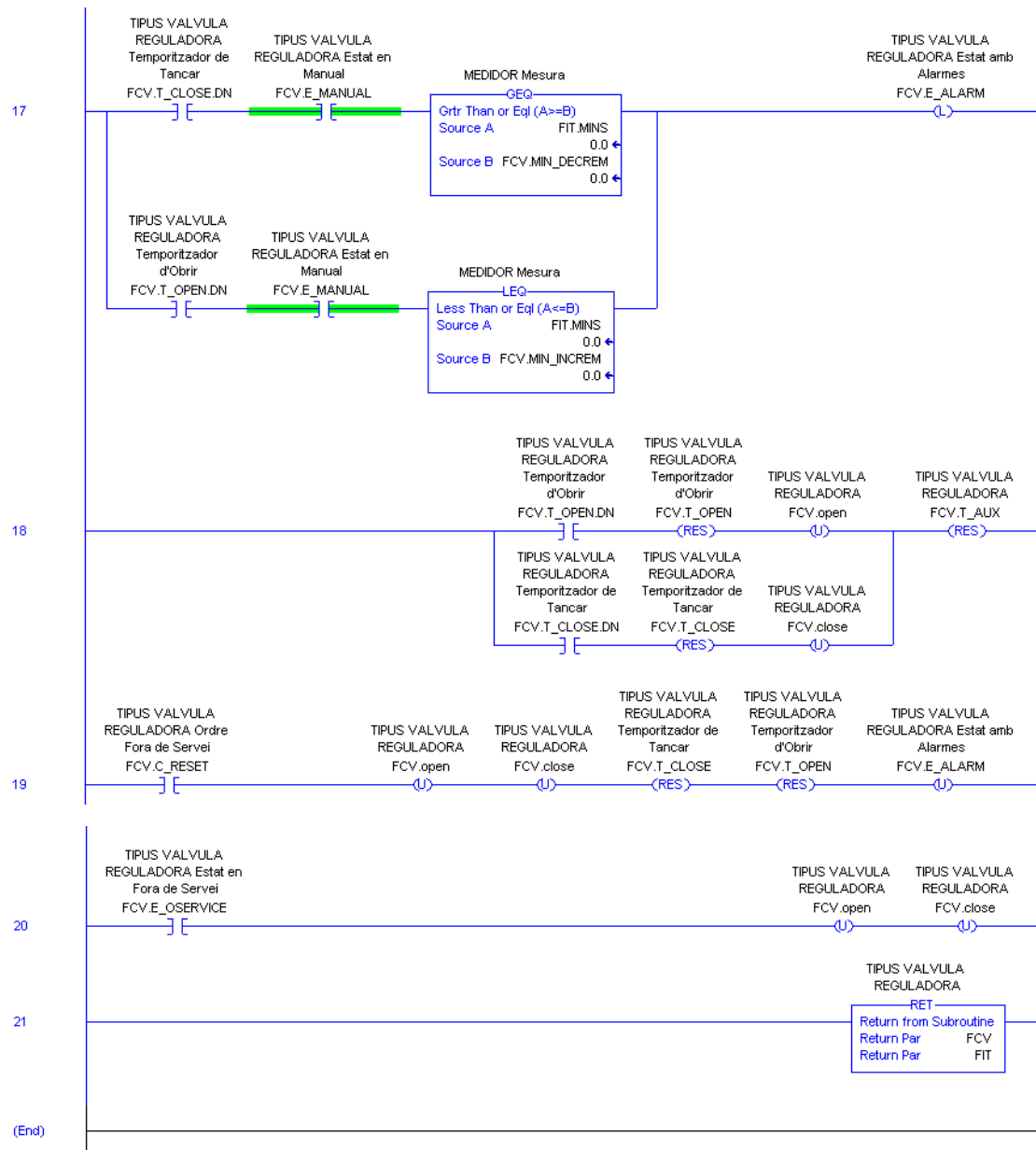


Rutina _30_Flow_Control_Valve

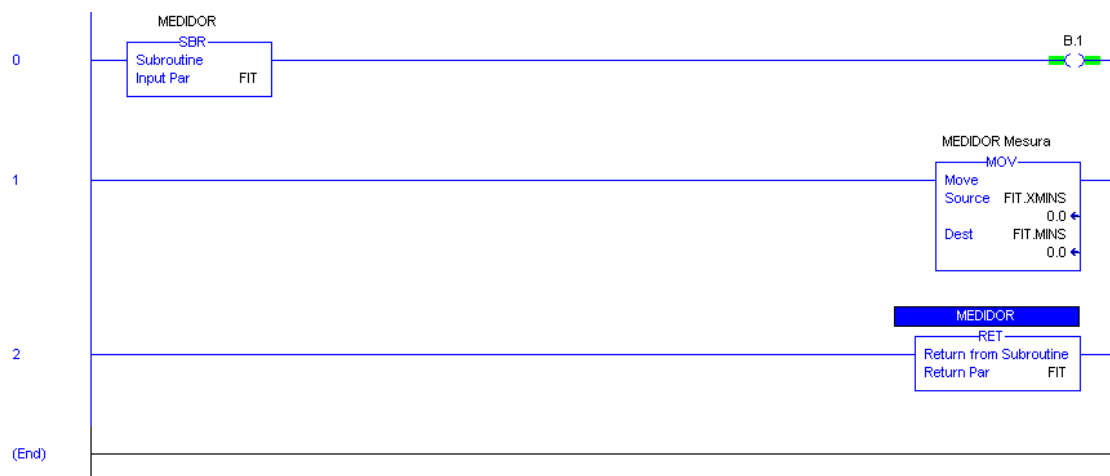




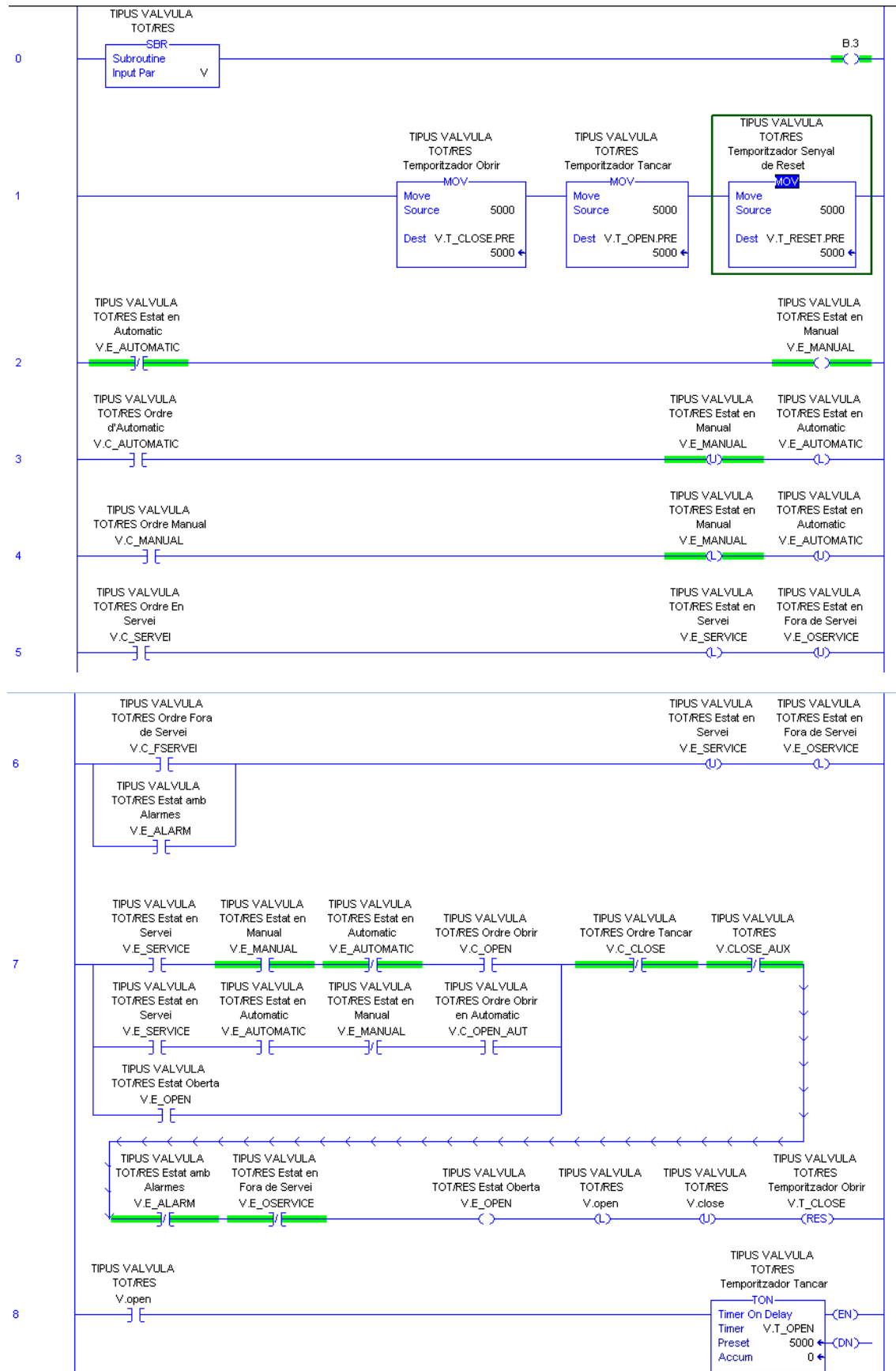


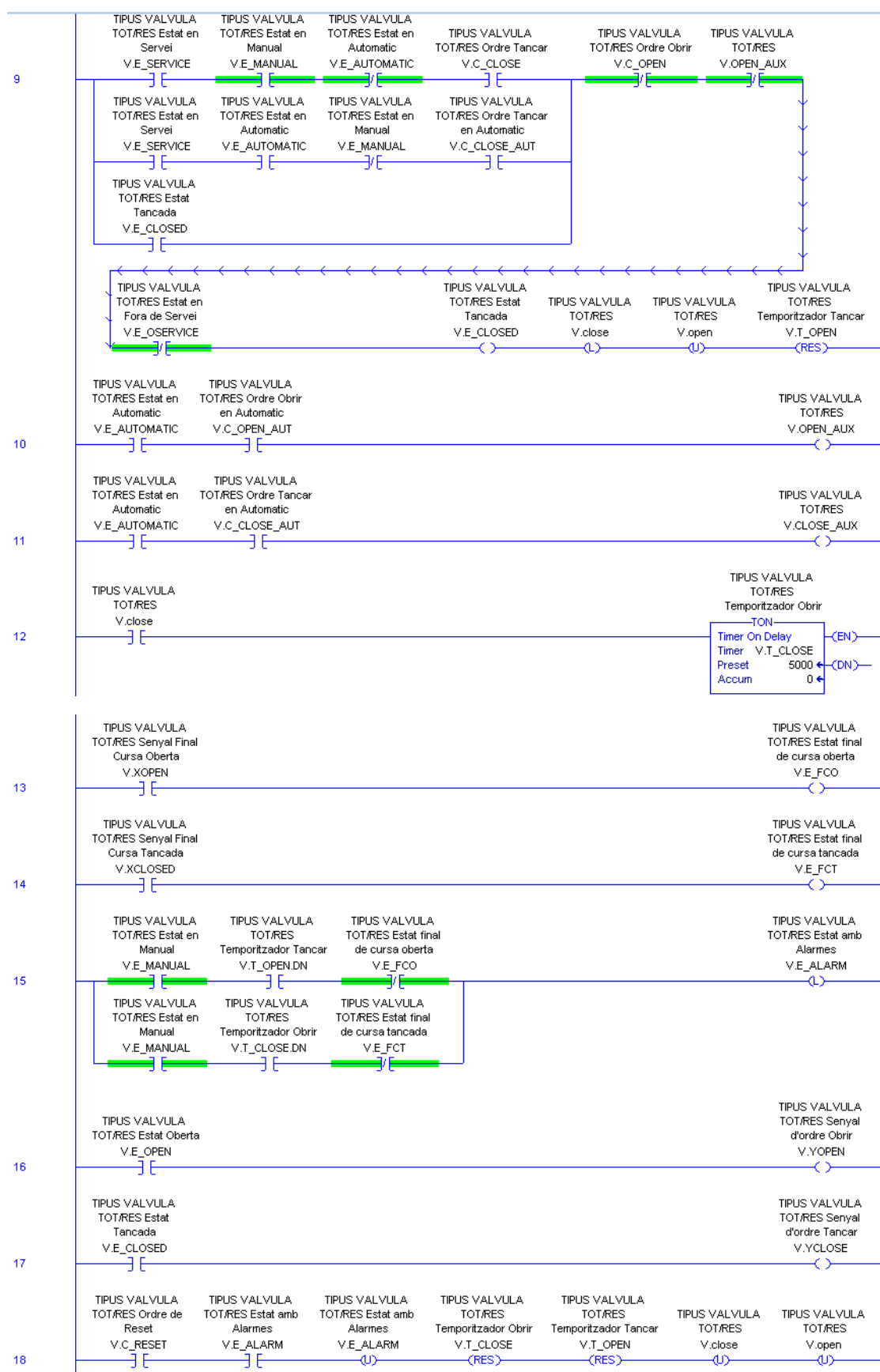


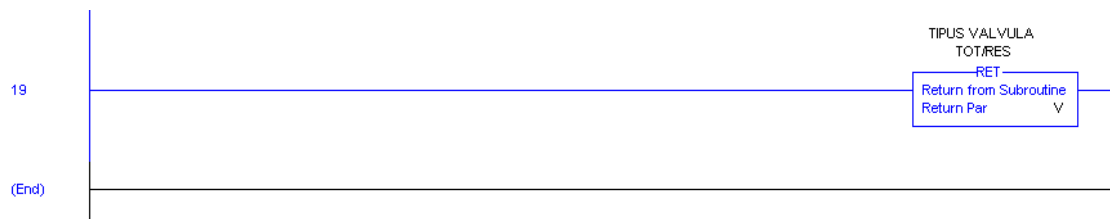
Rutina _40_Indicator_Transmitter



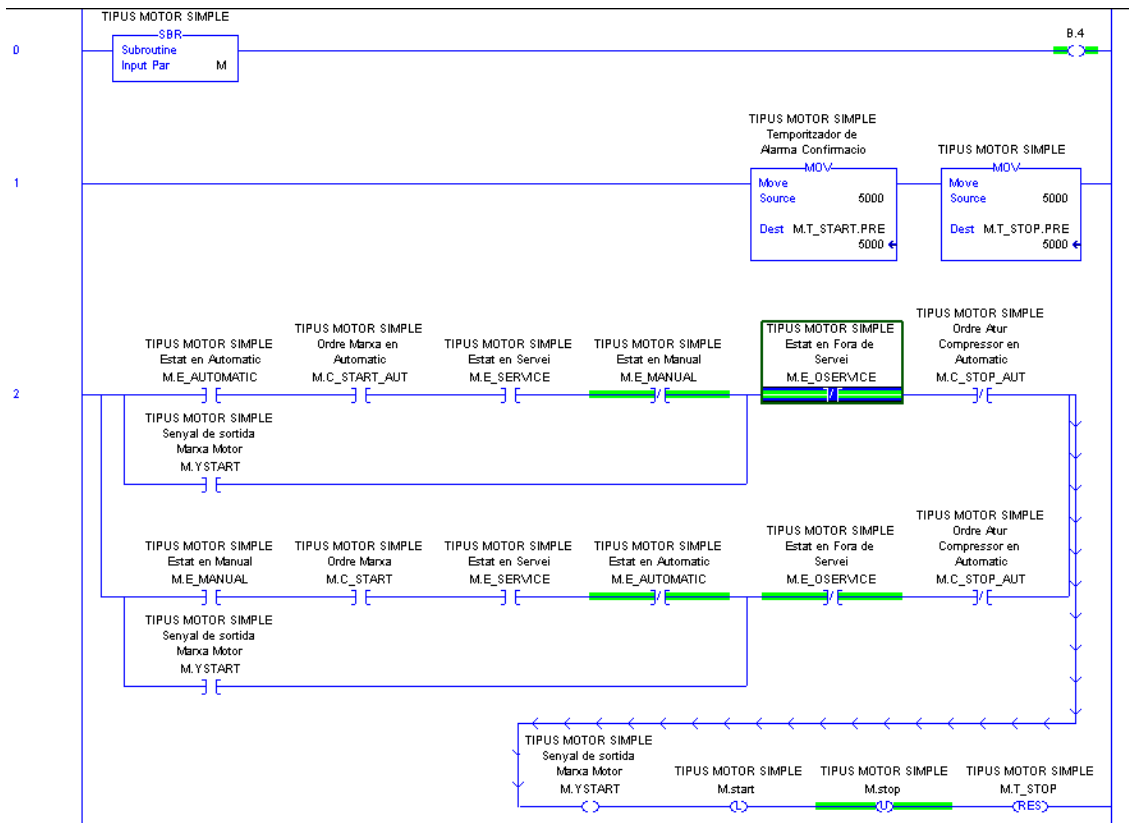
Rutina _60_On_Off_Valve

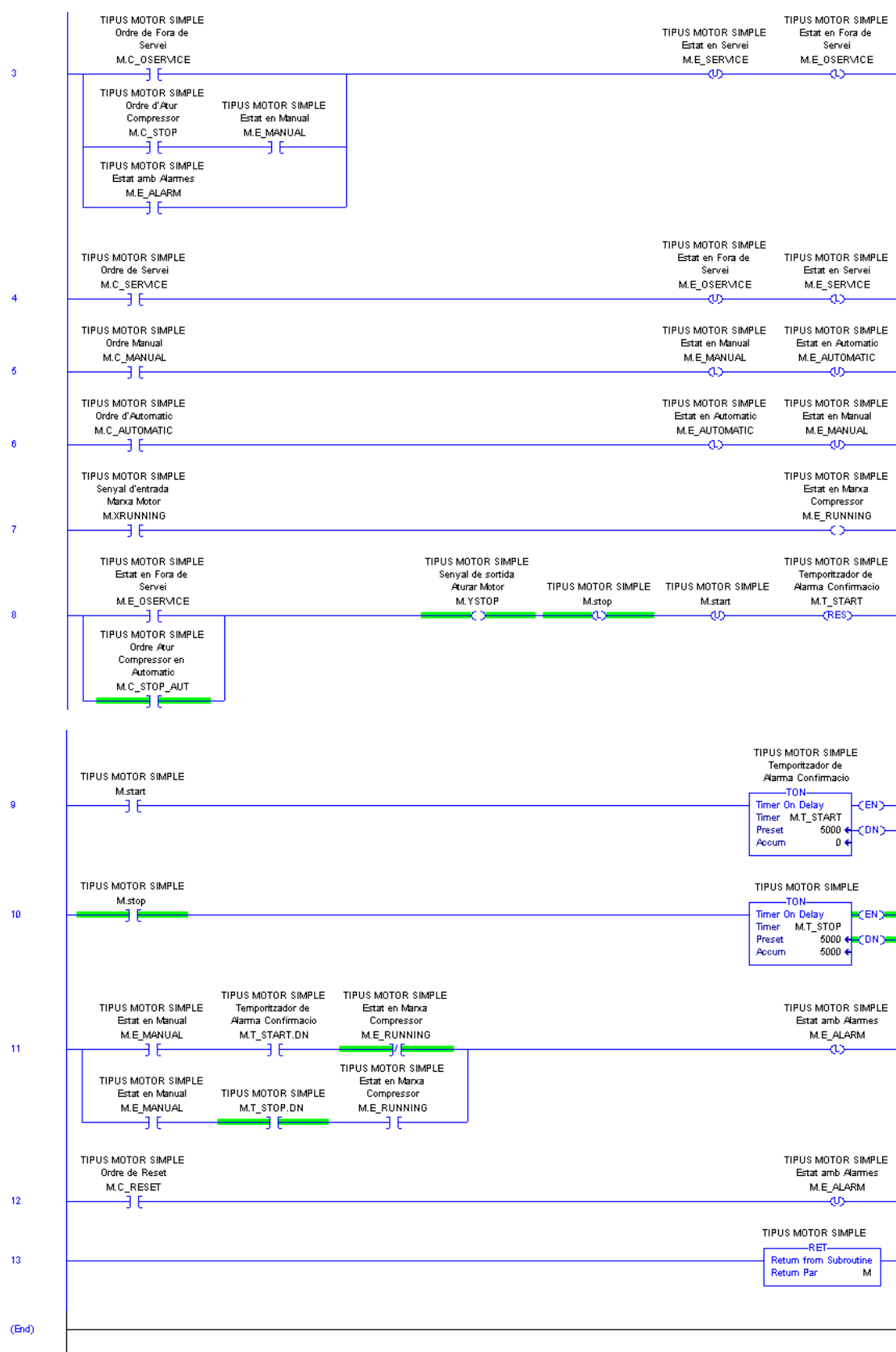




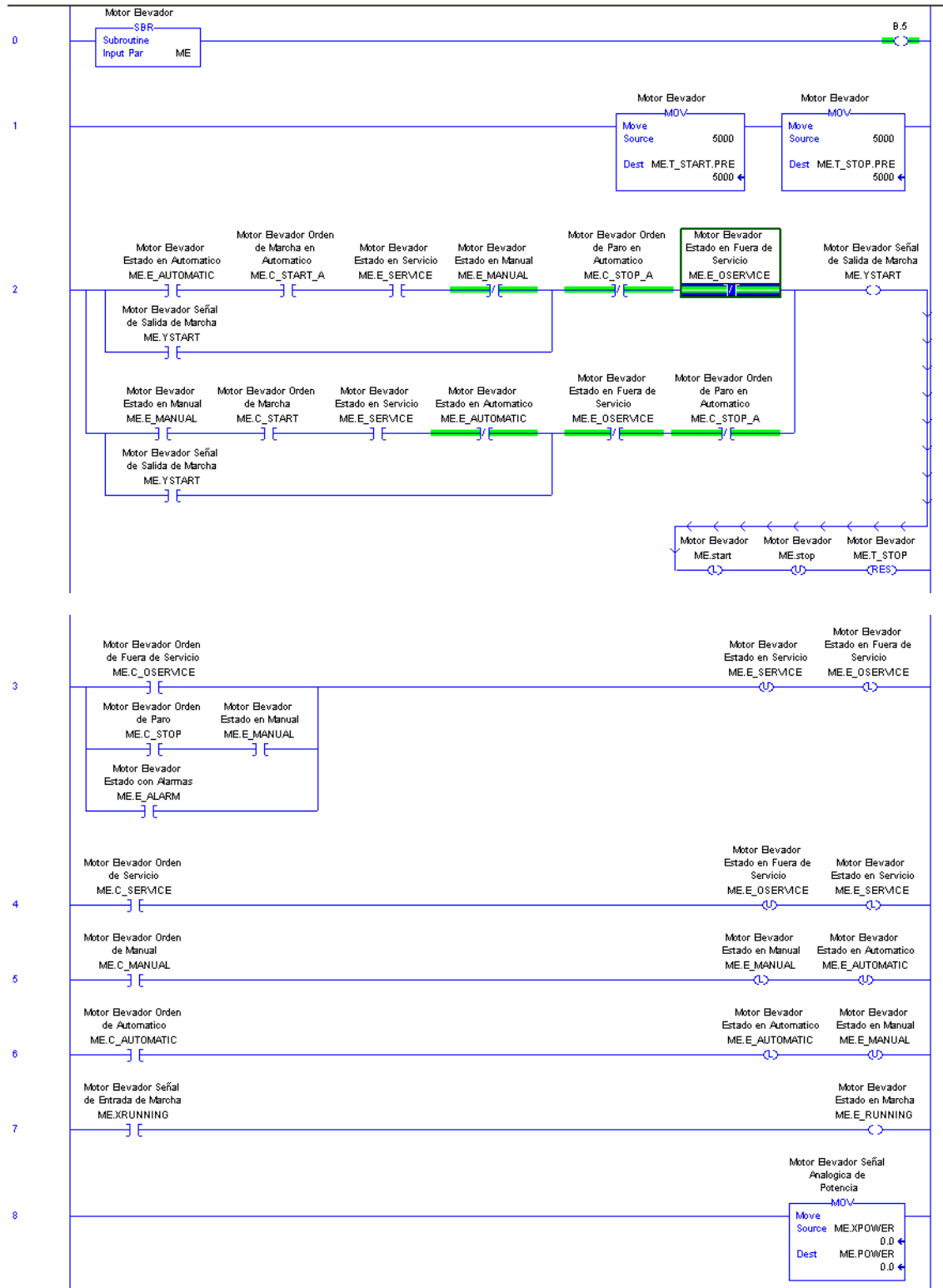


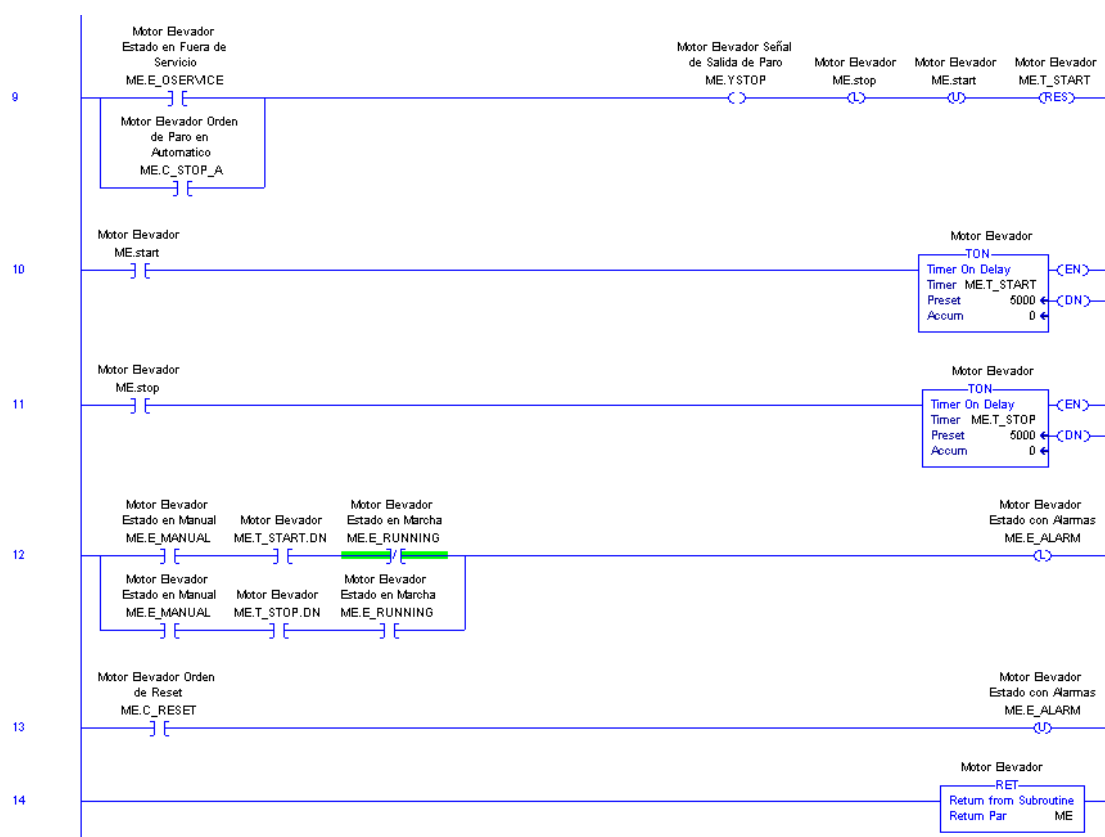
Rutina _70_Motor



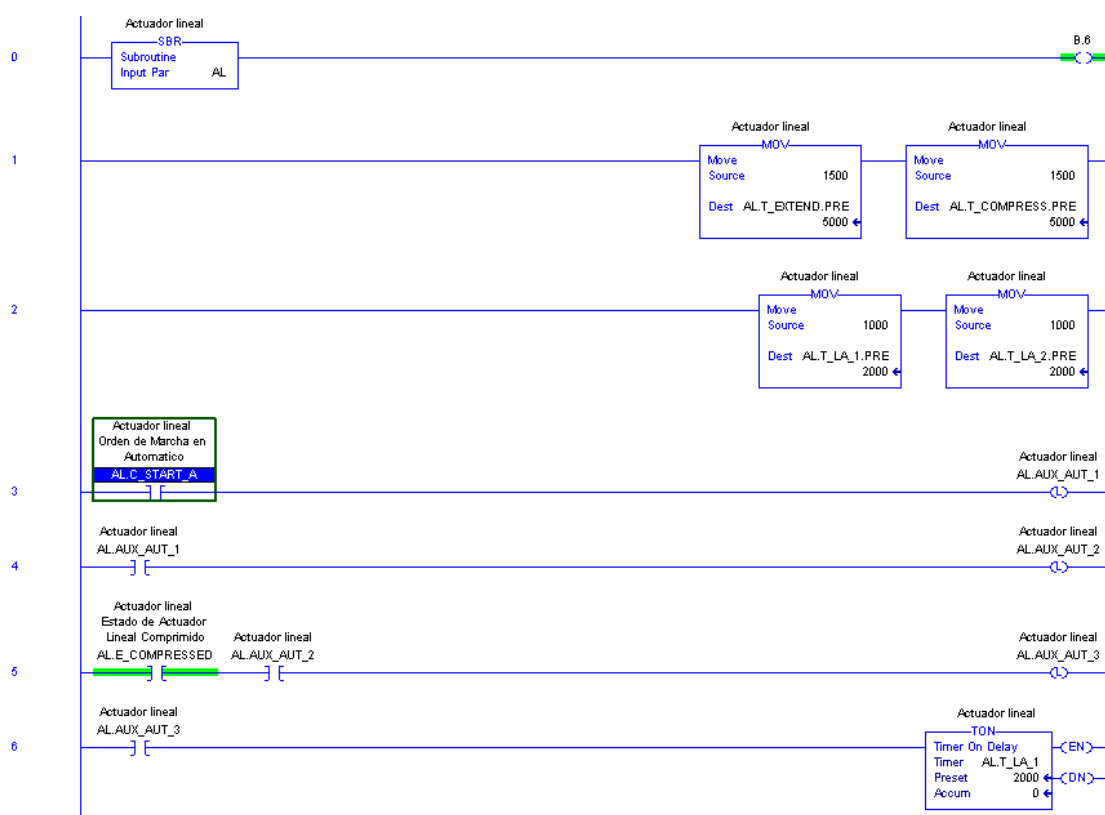


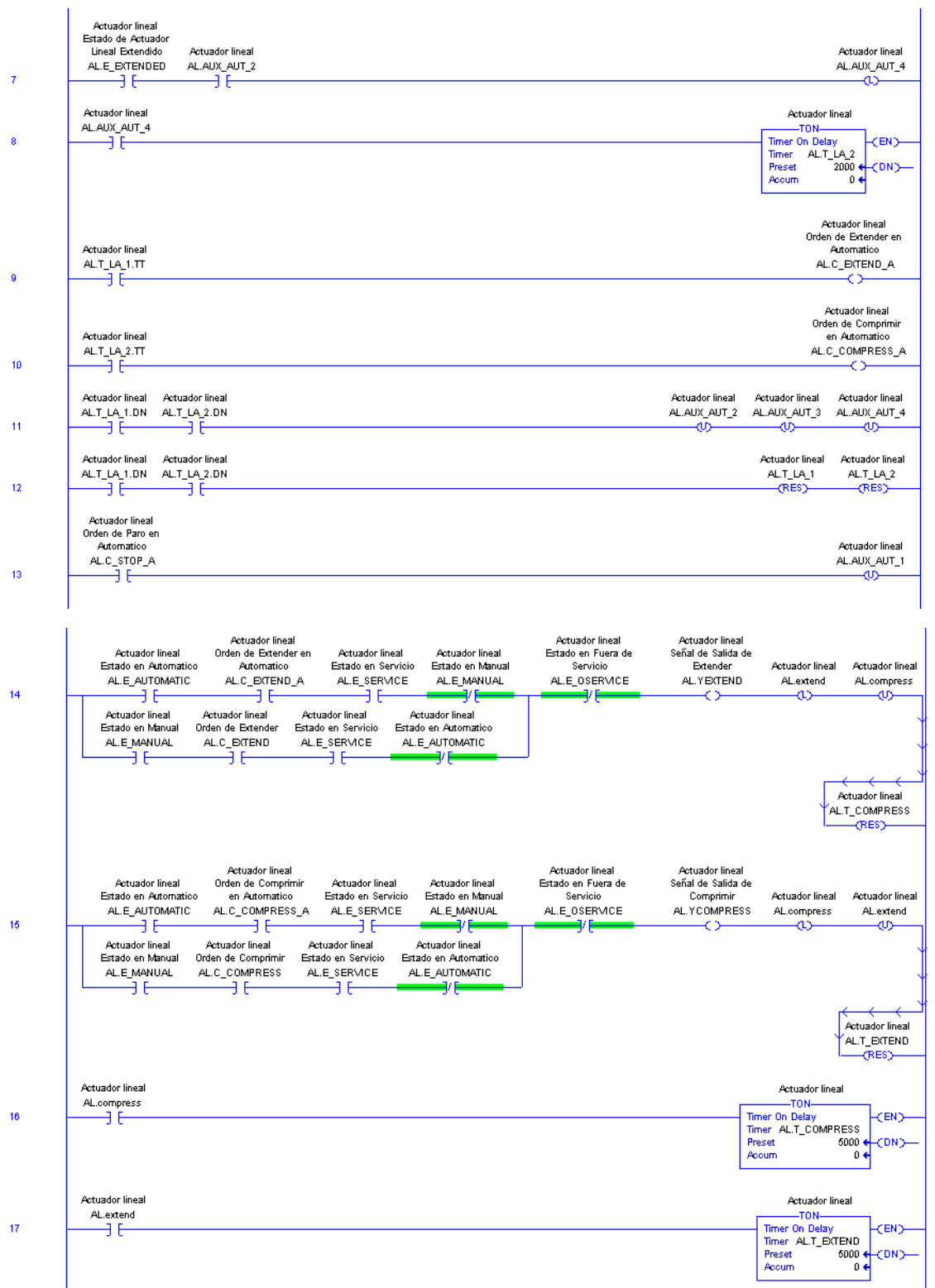
Rutina _80_Motor_Elevator

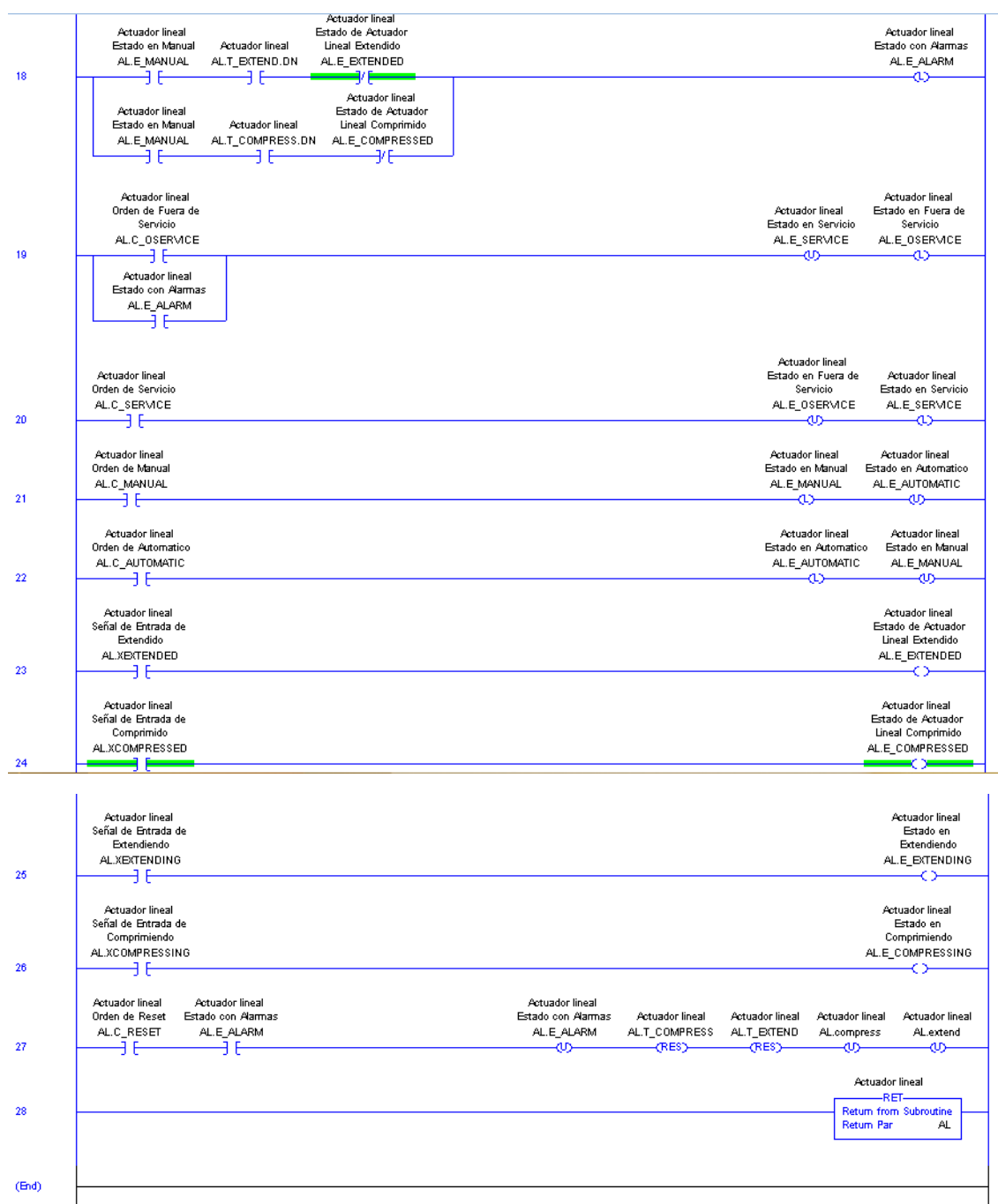




Rutina _90_Linear_Actuator

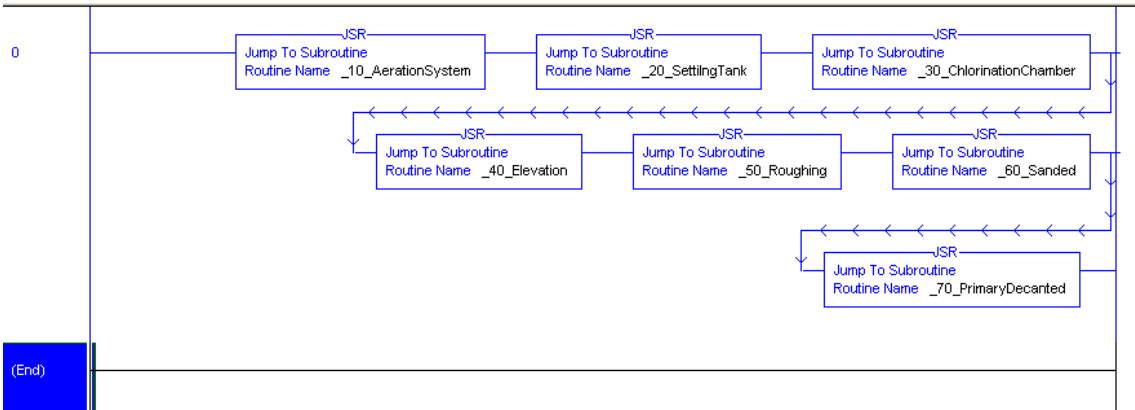




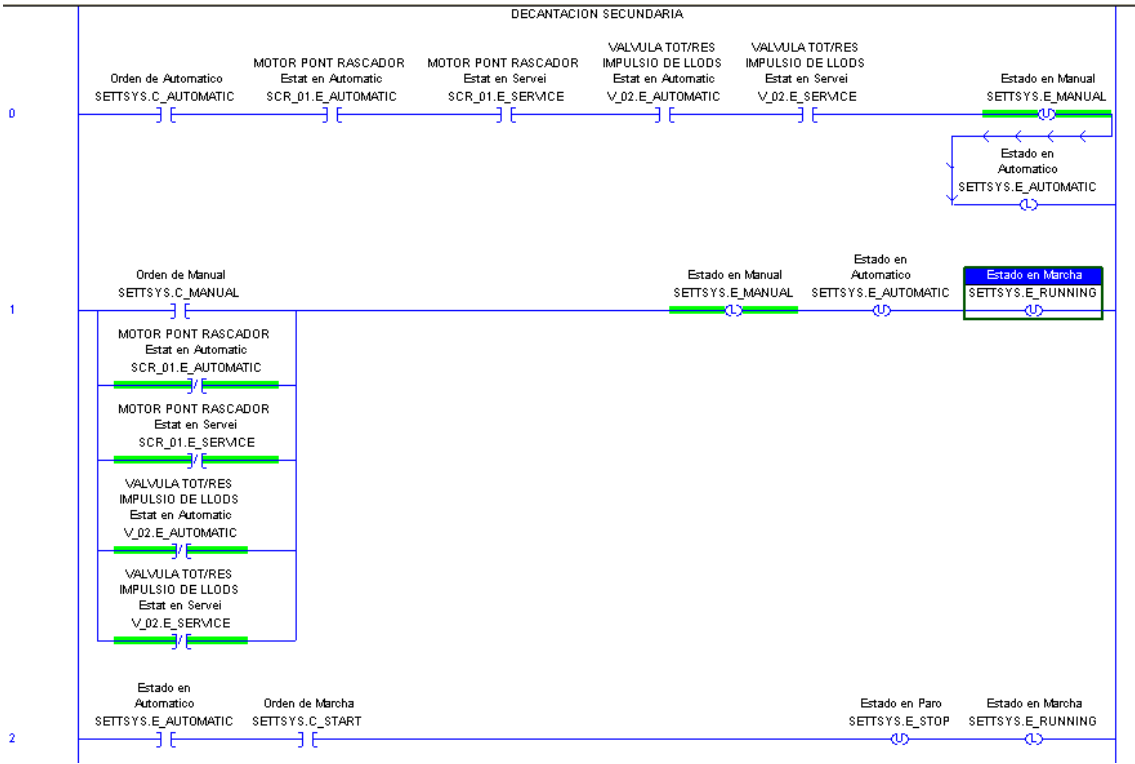


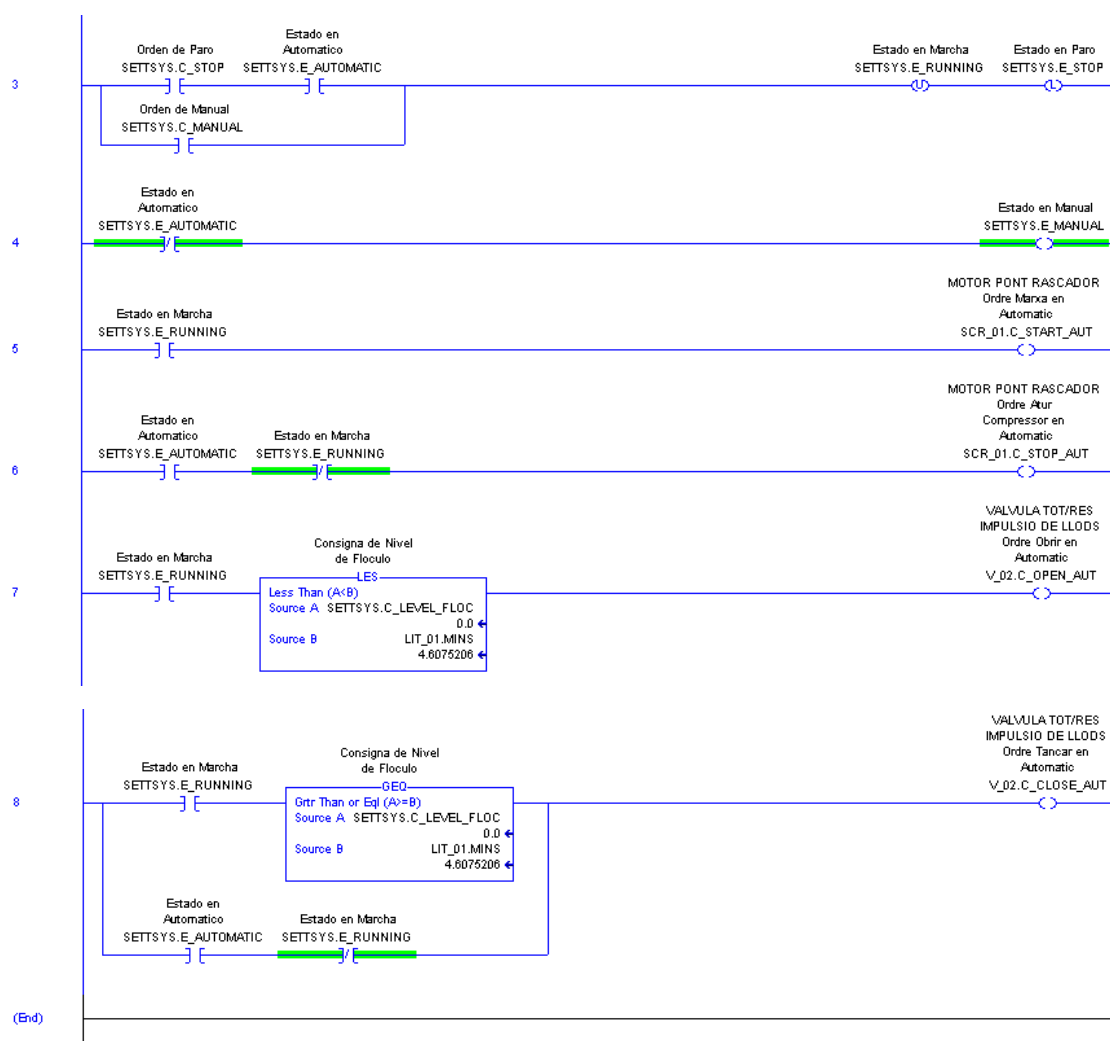
PROGRAMA CONTROLSYSTEMS

Rutina _00_MainRoutine

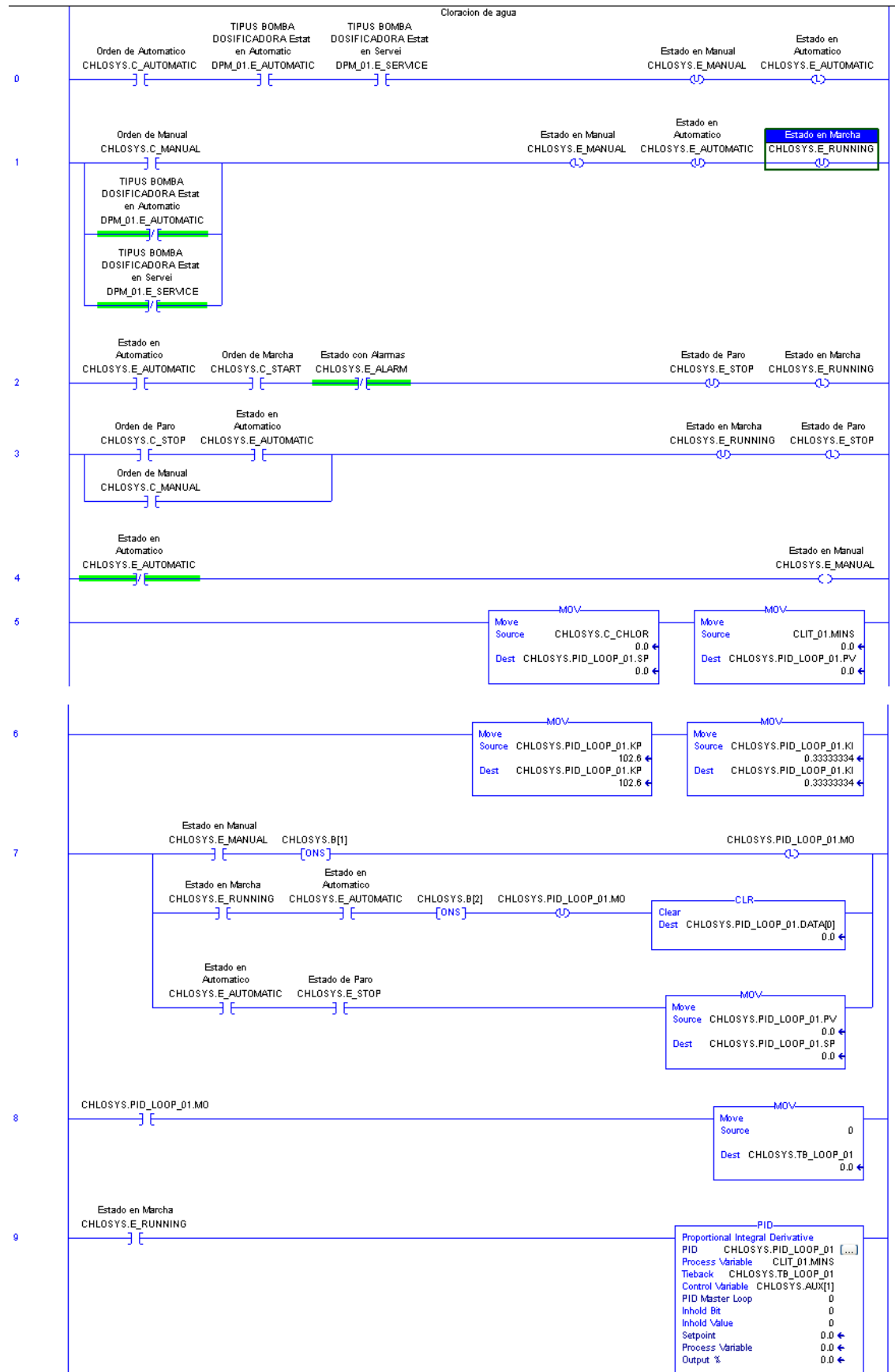


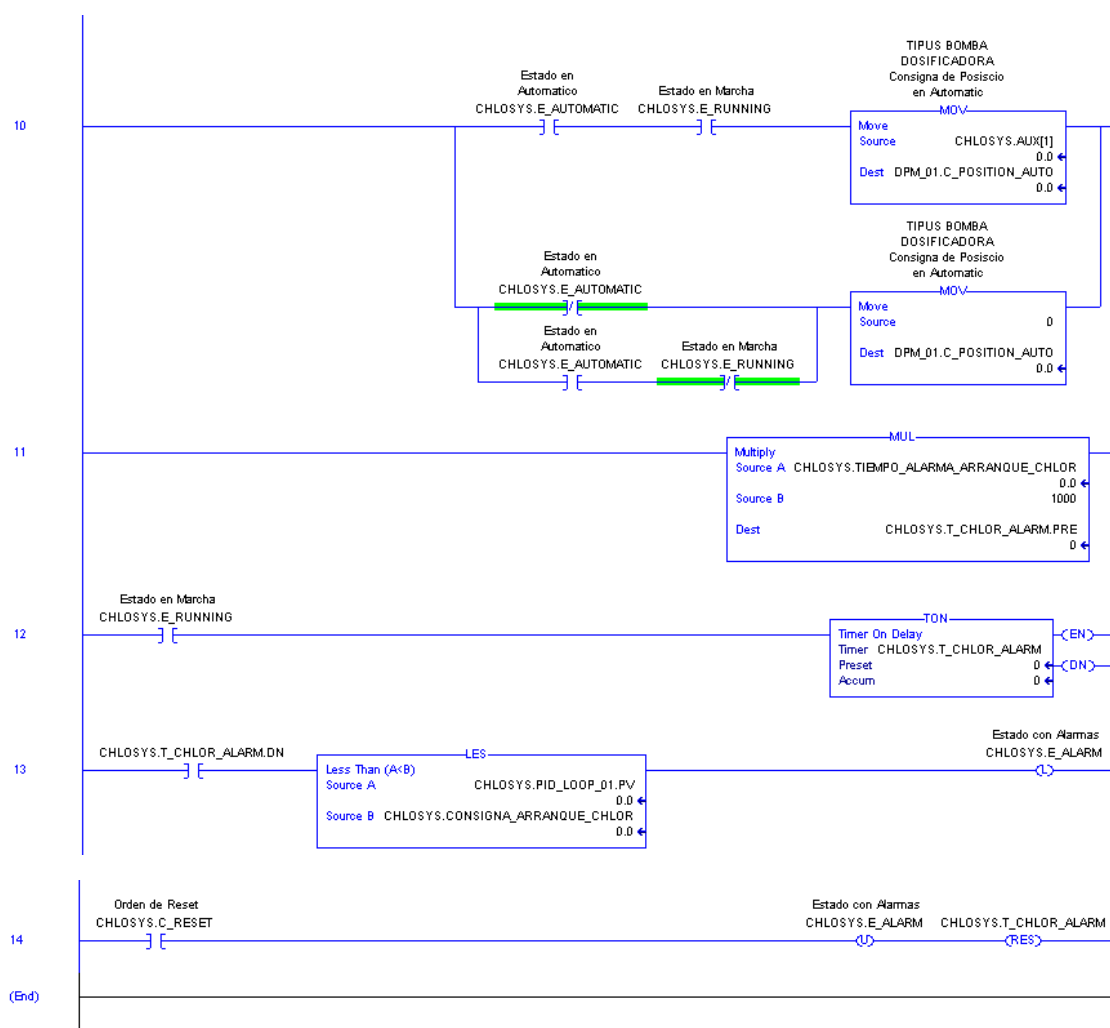
Rutina _20_SettingTank



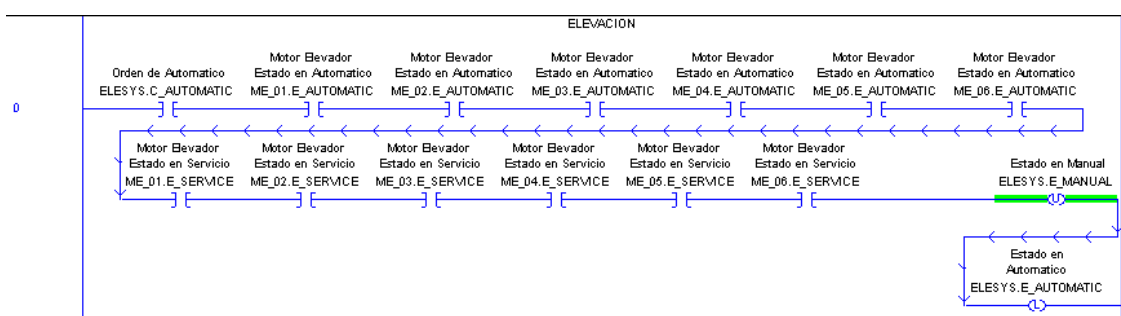


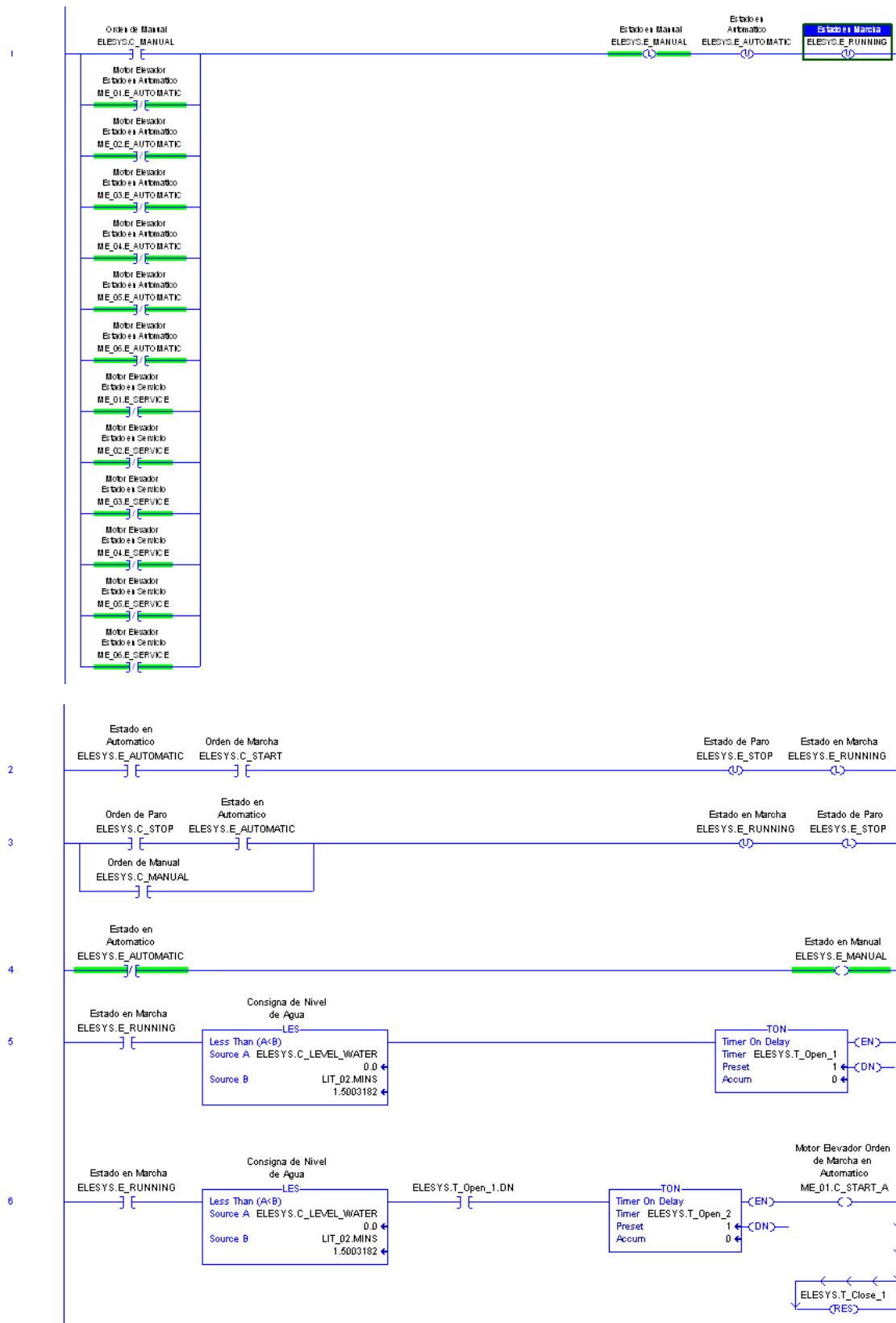
Rutina_30_ChlorinationChamber

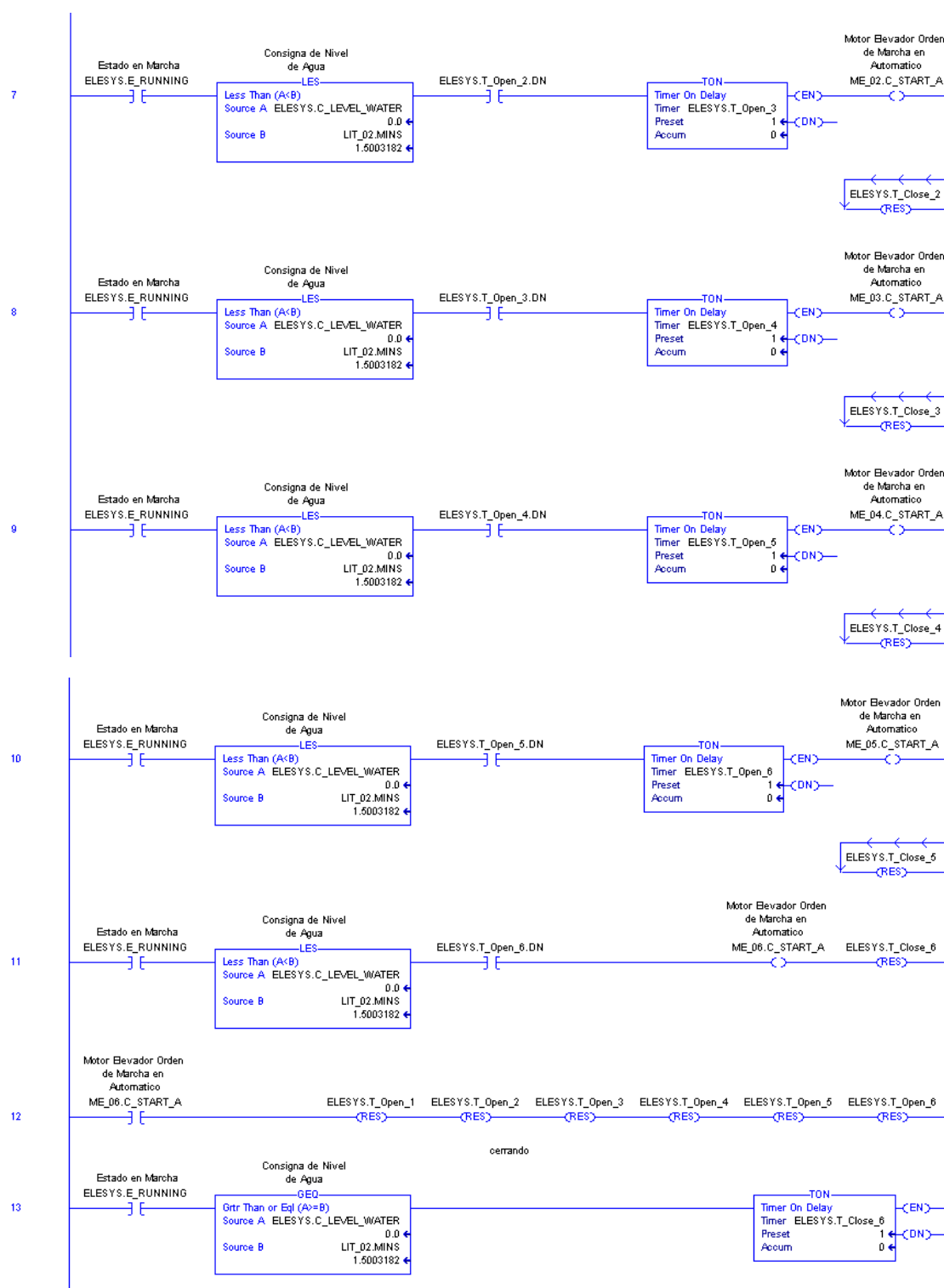


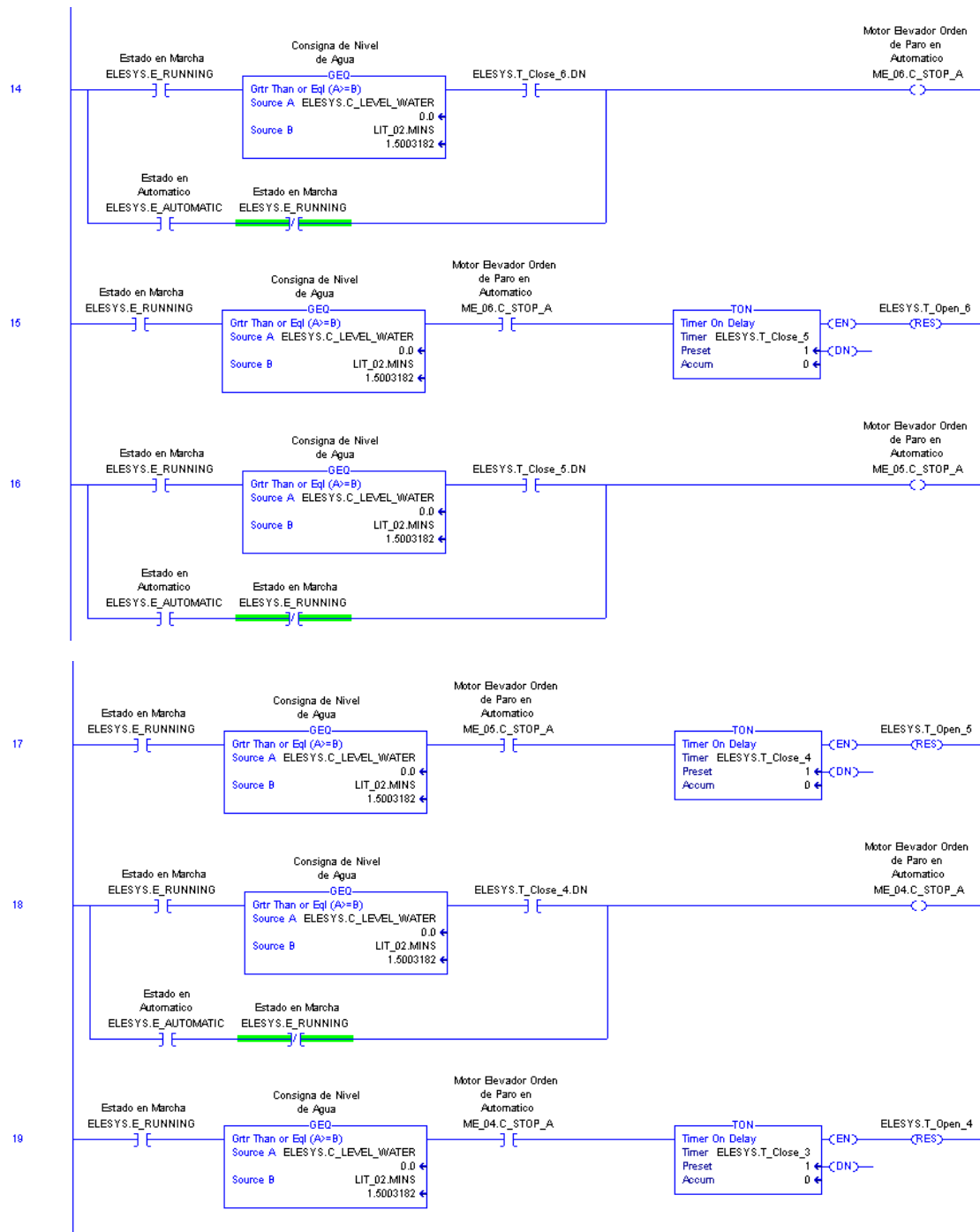


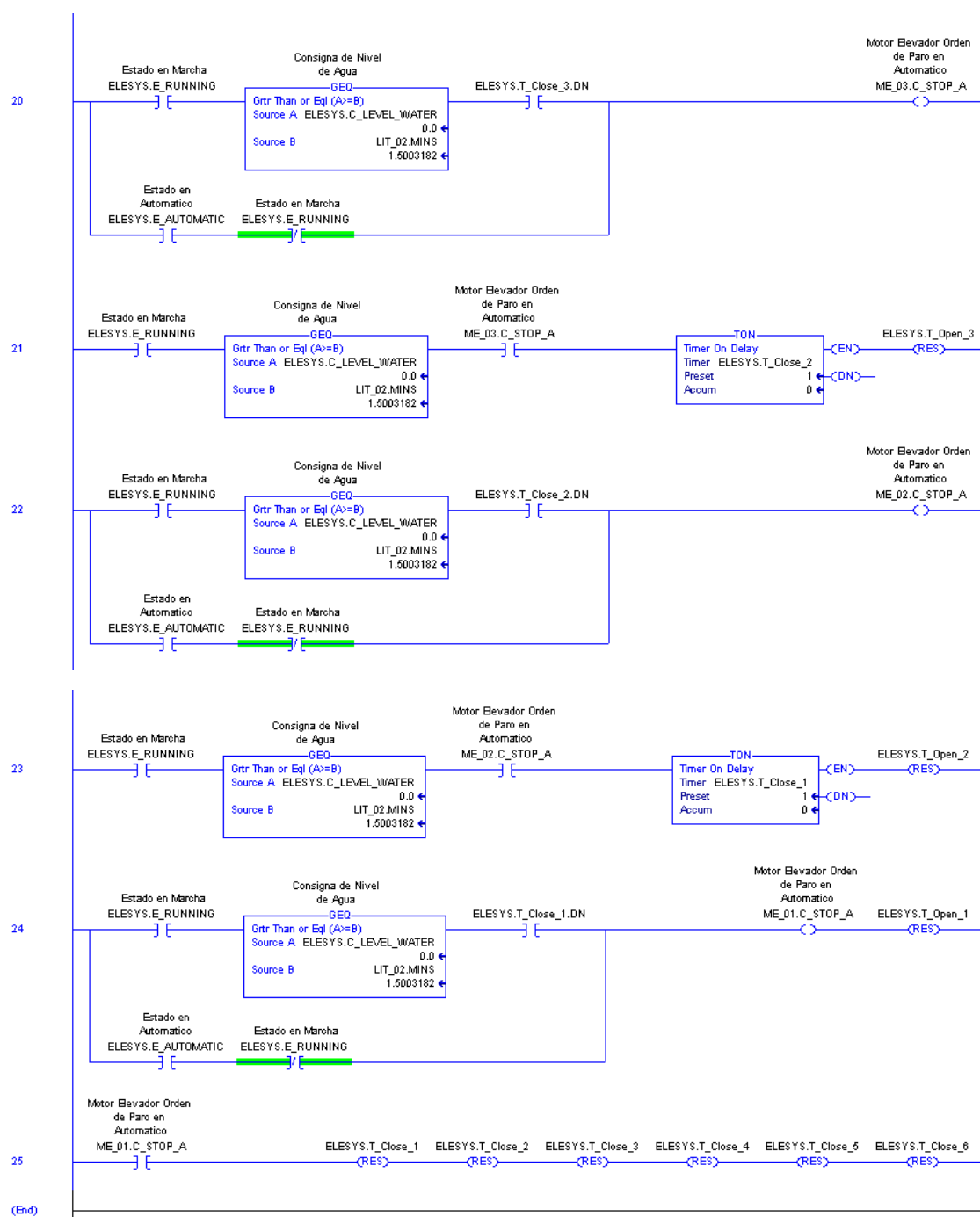
Rutina_40_Elevation



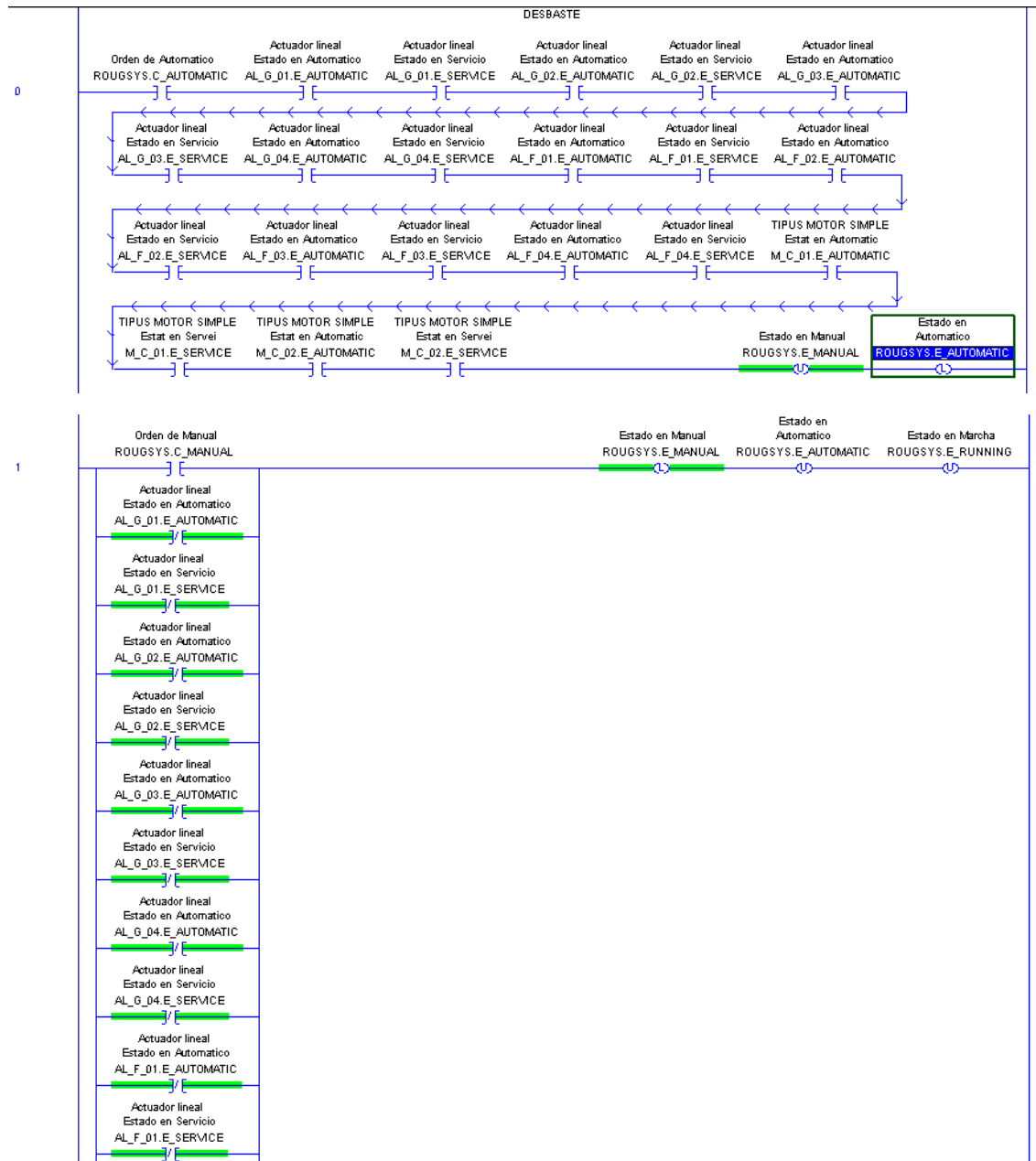


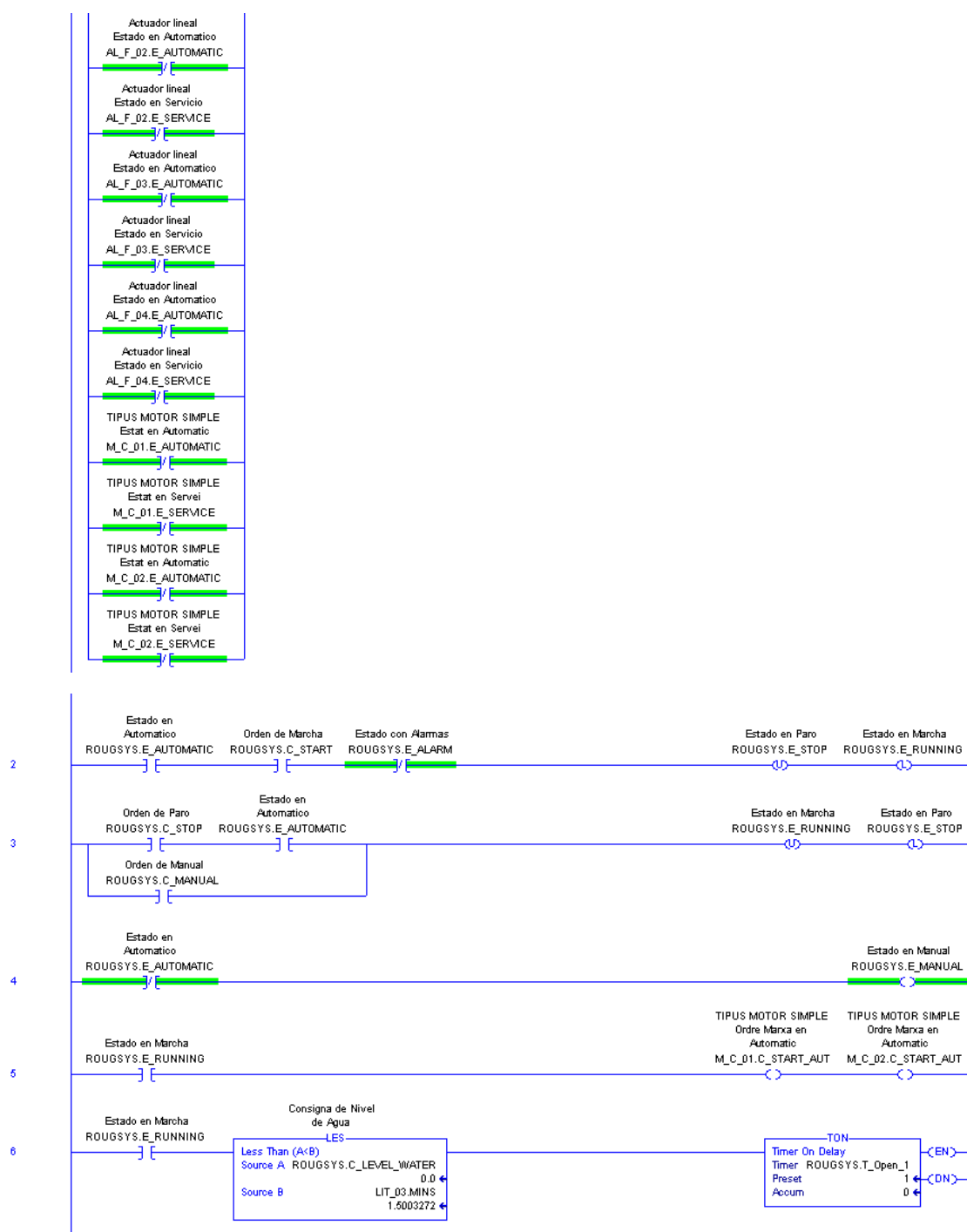


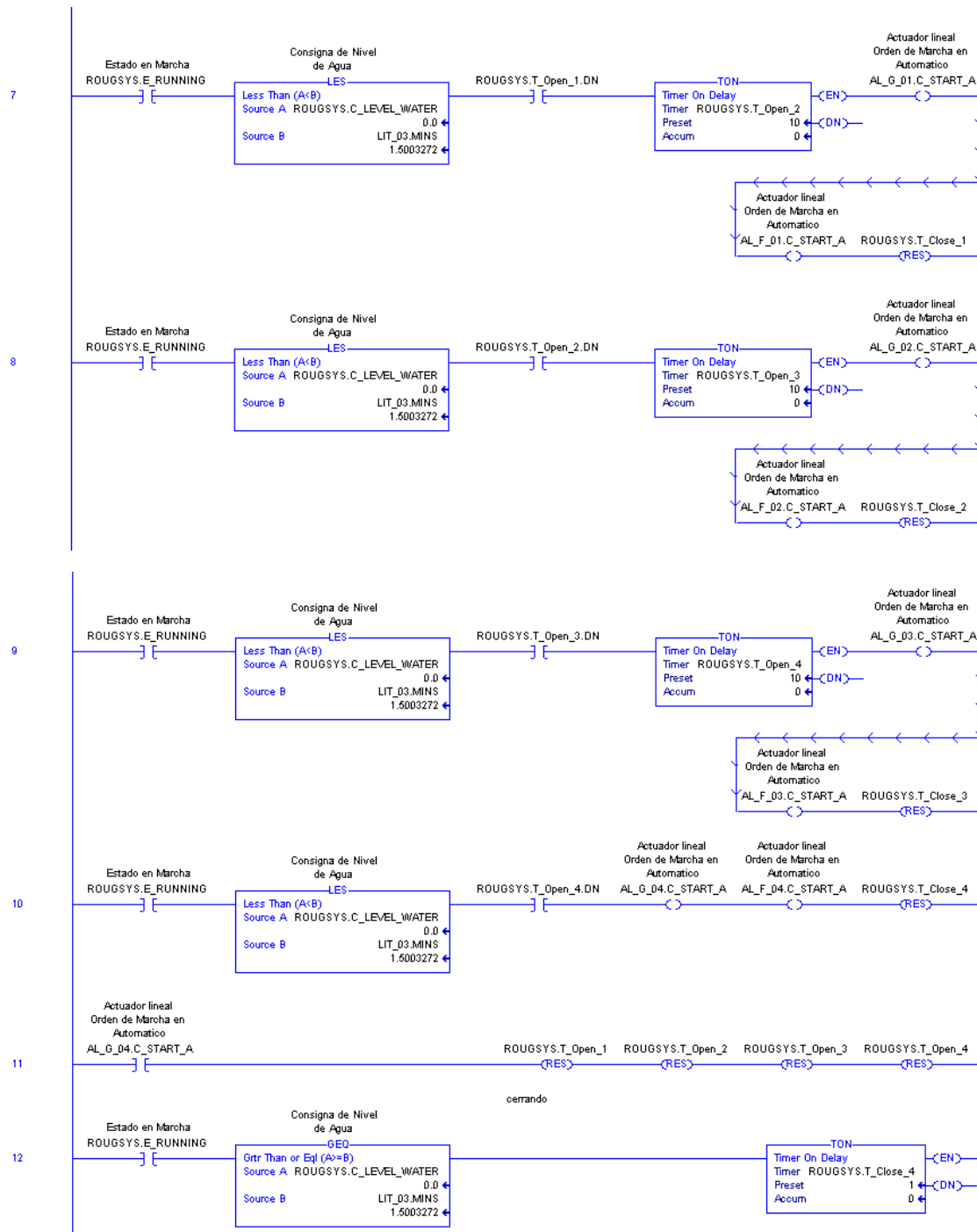


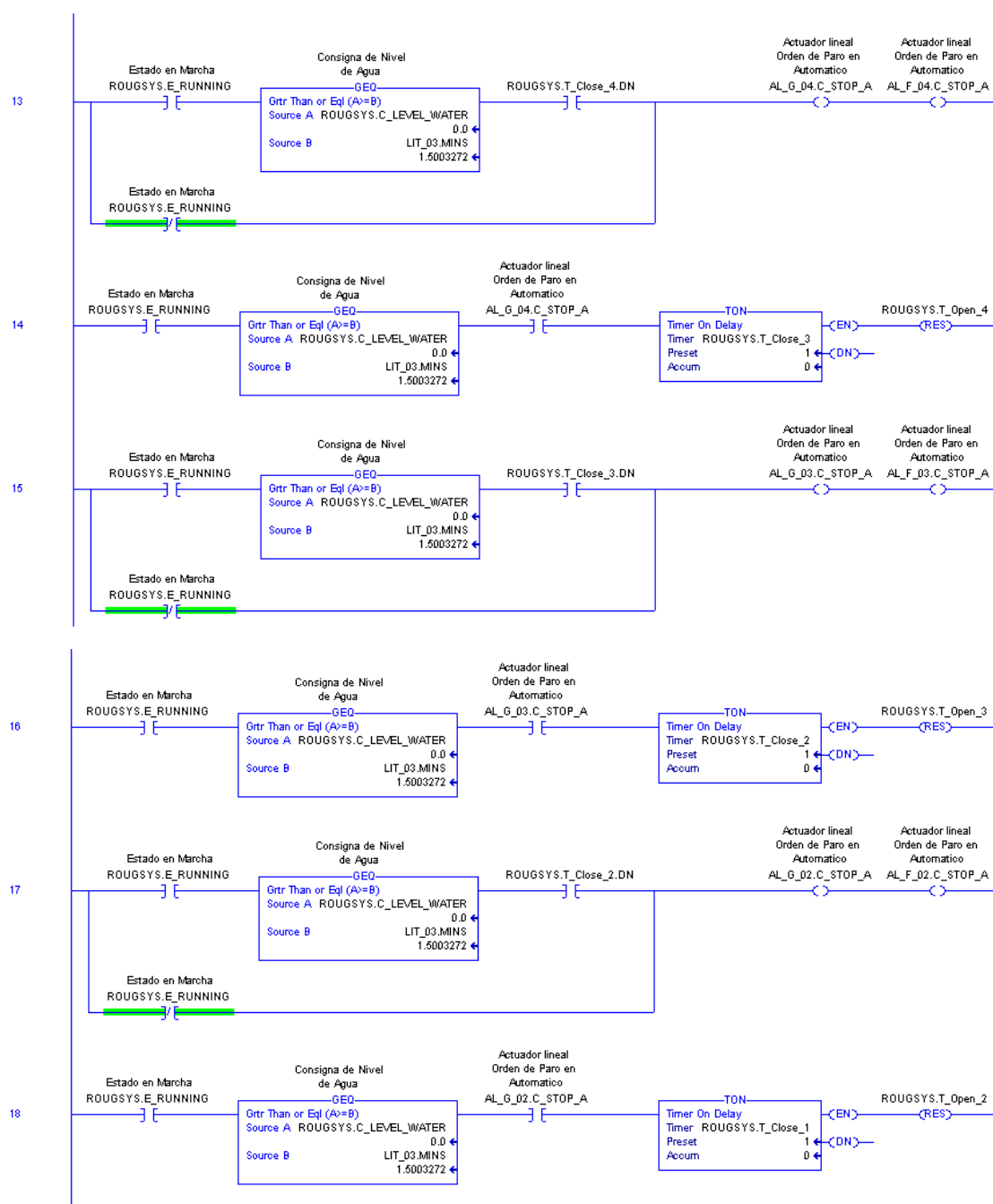


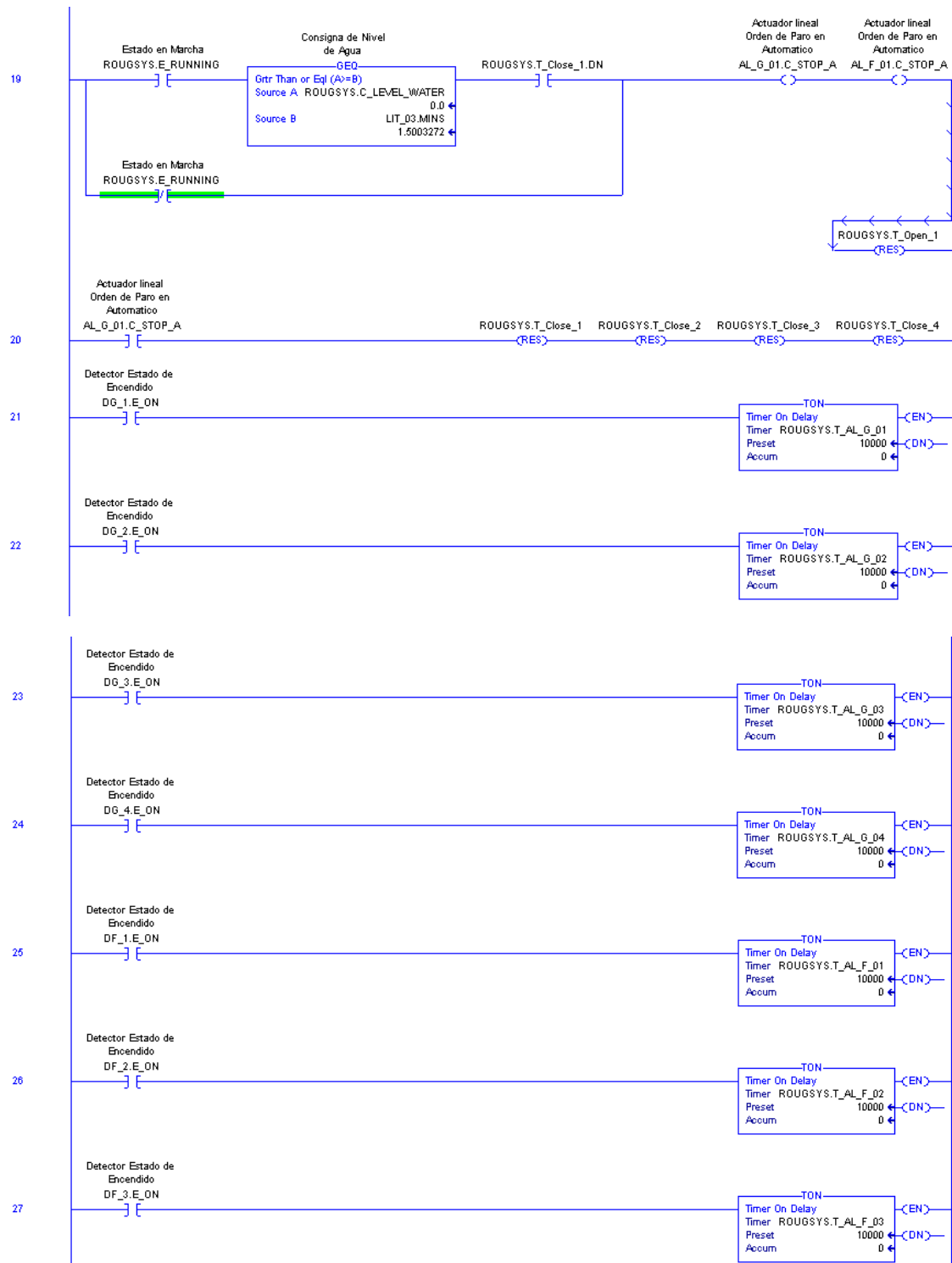
Rutina_50_Roughing

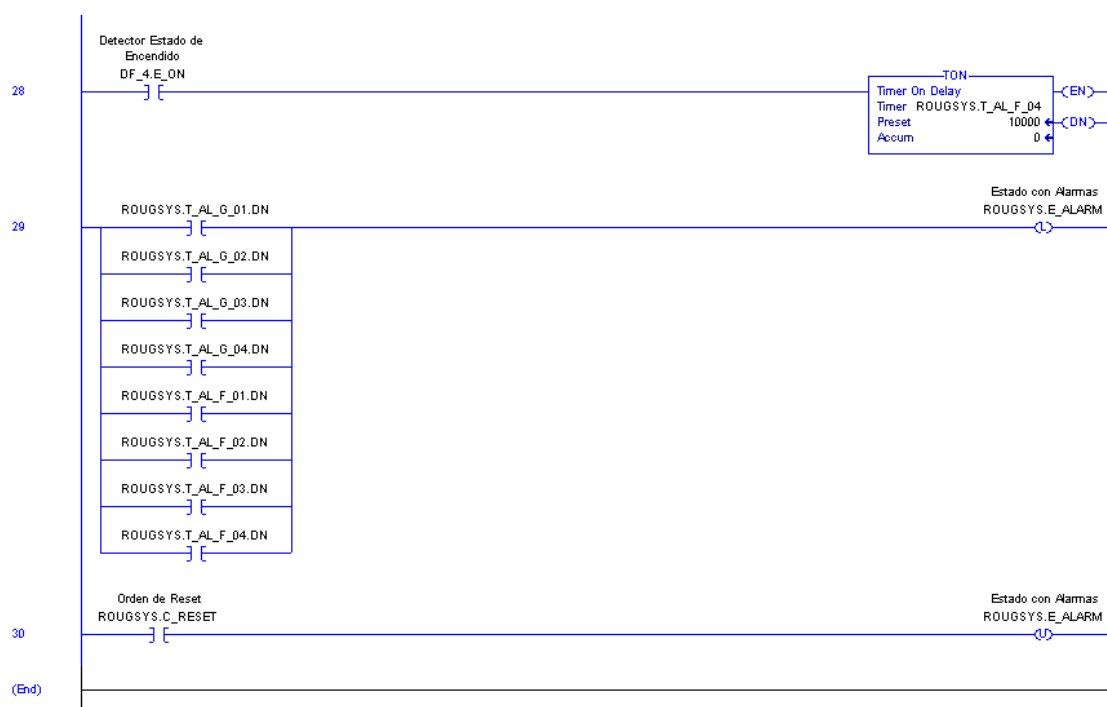




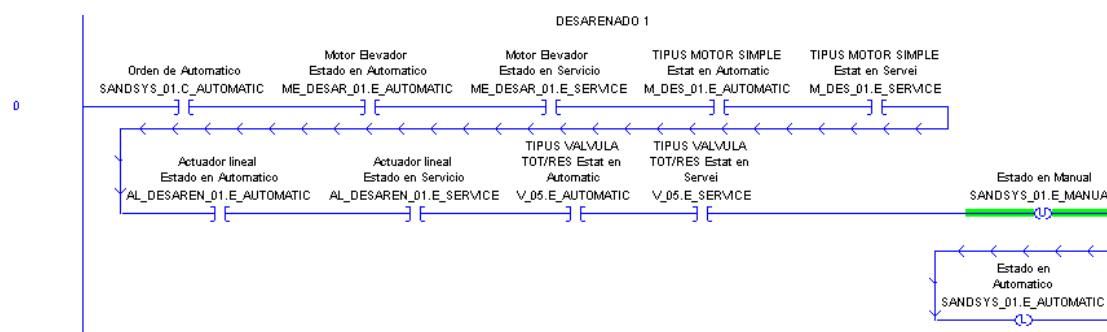


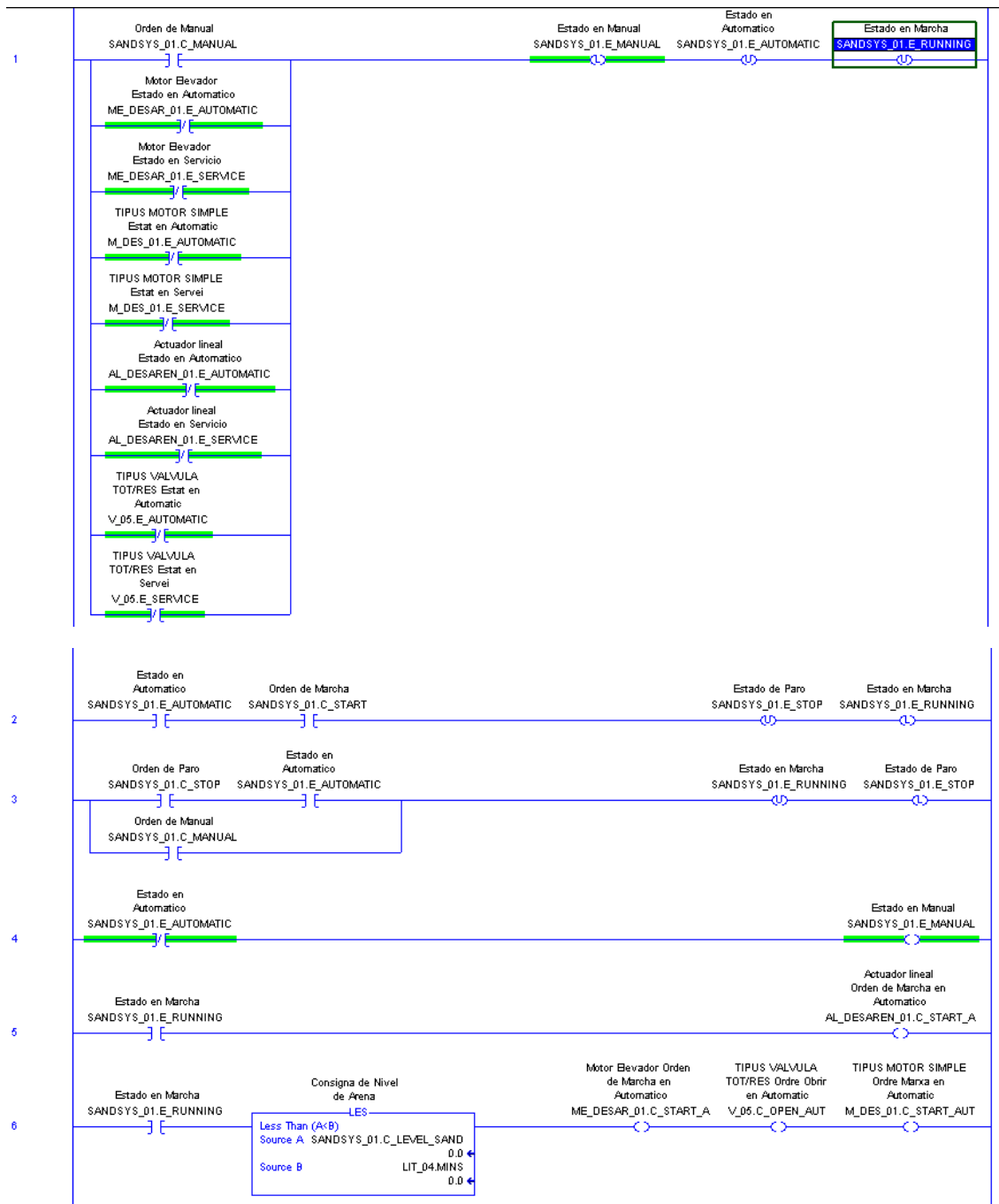


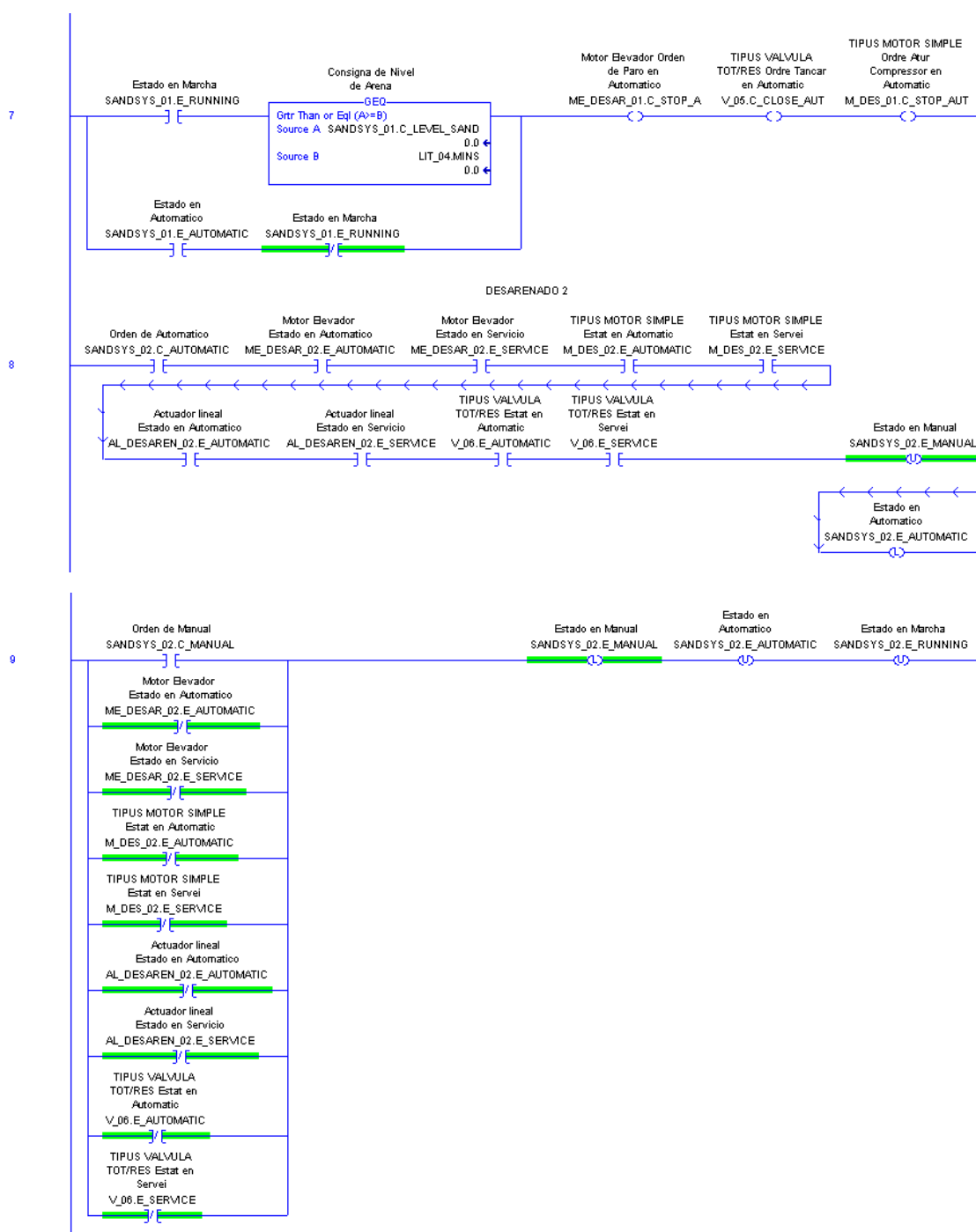


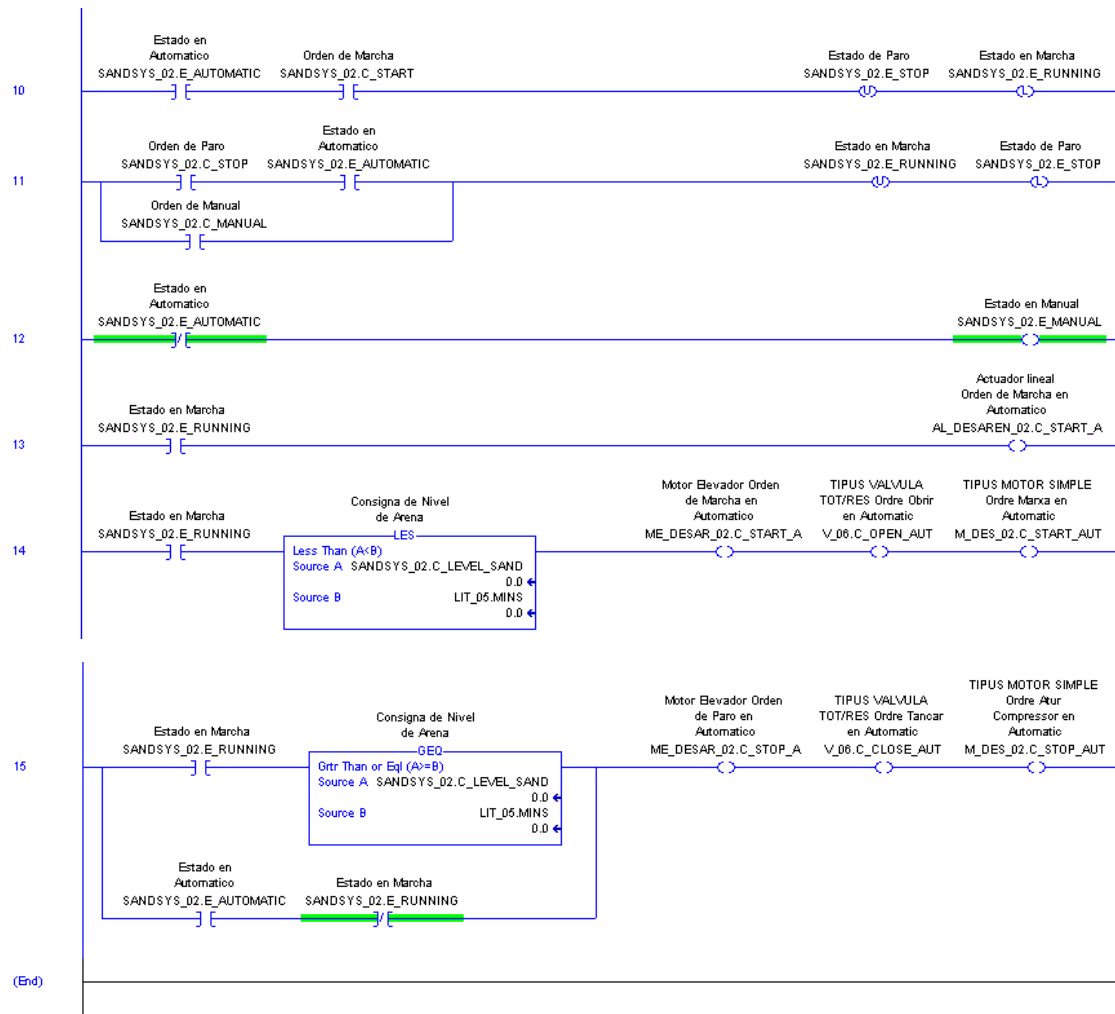


Rutina_60_Sanded

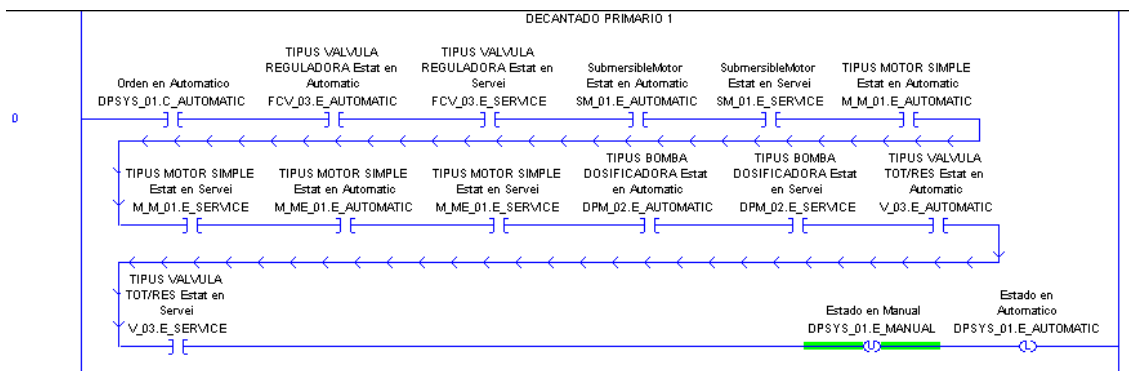


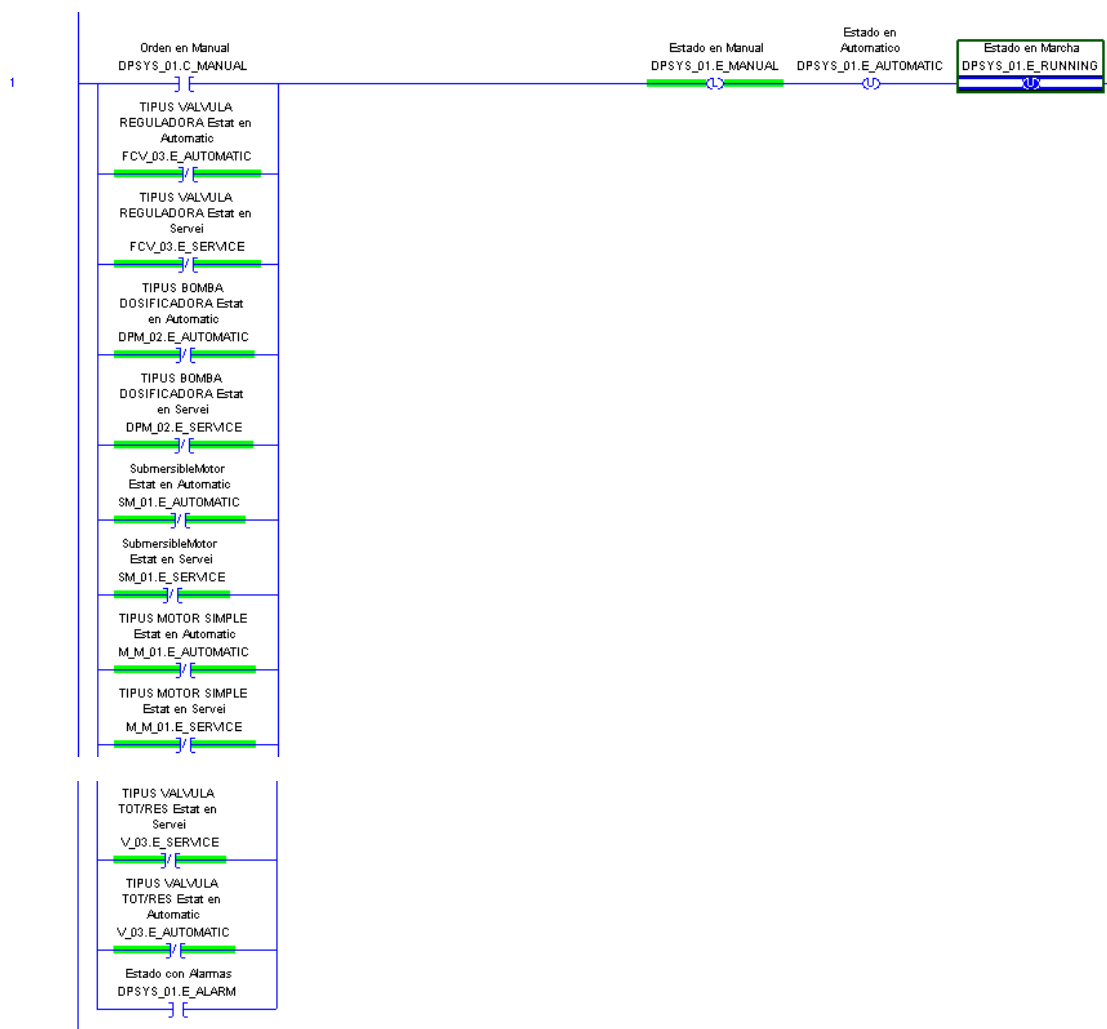


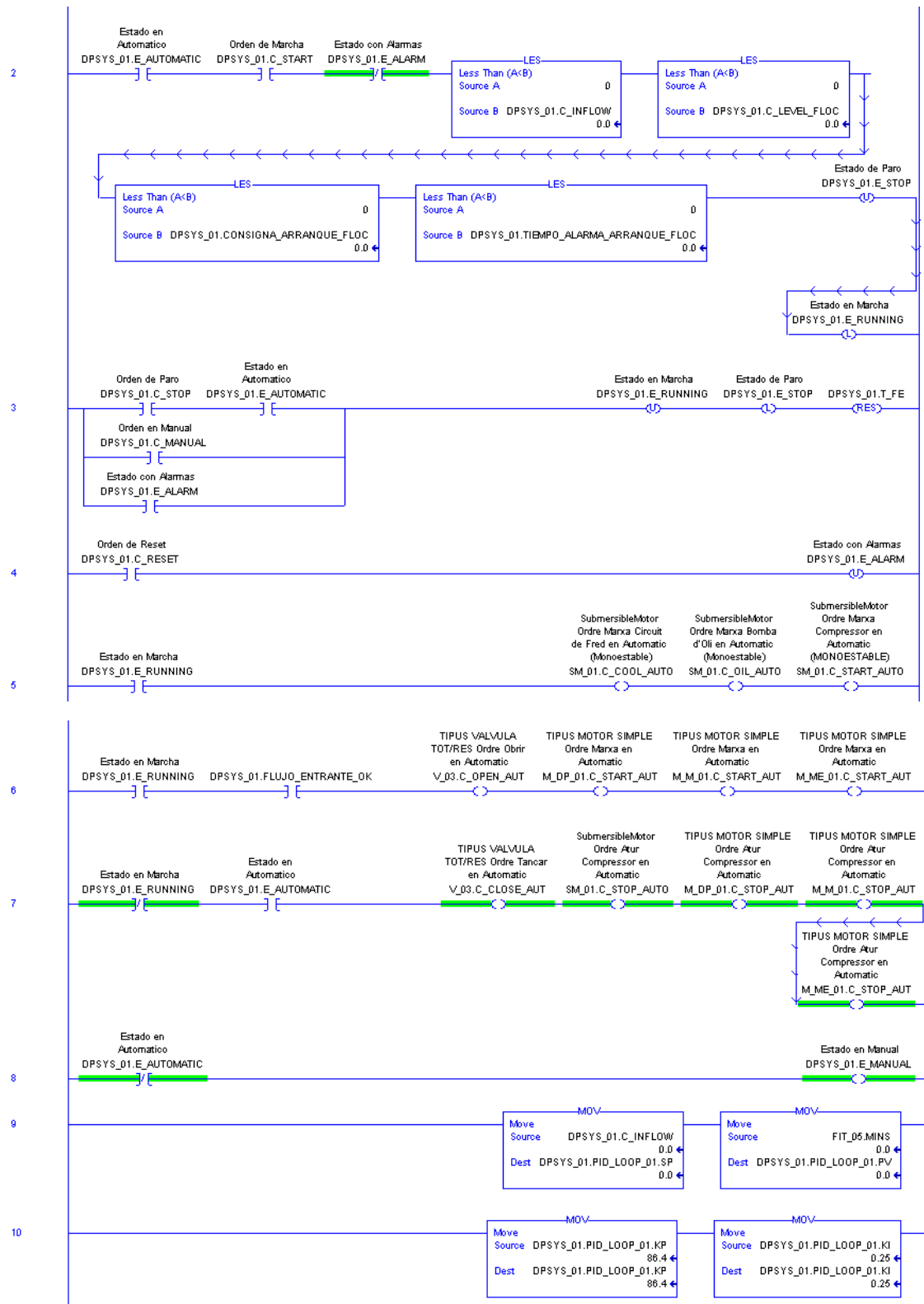


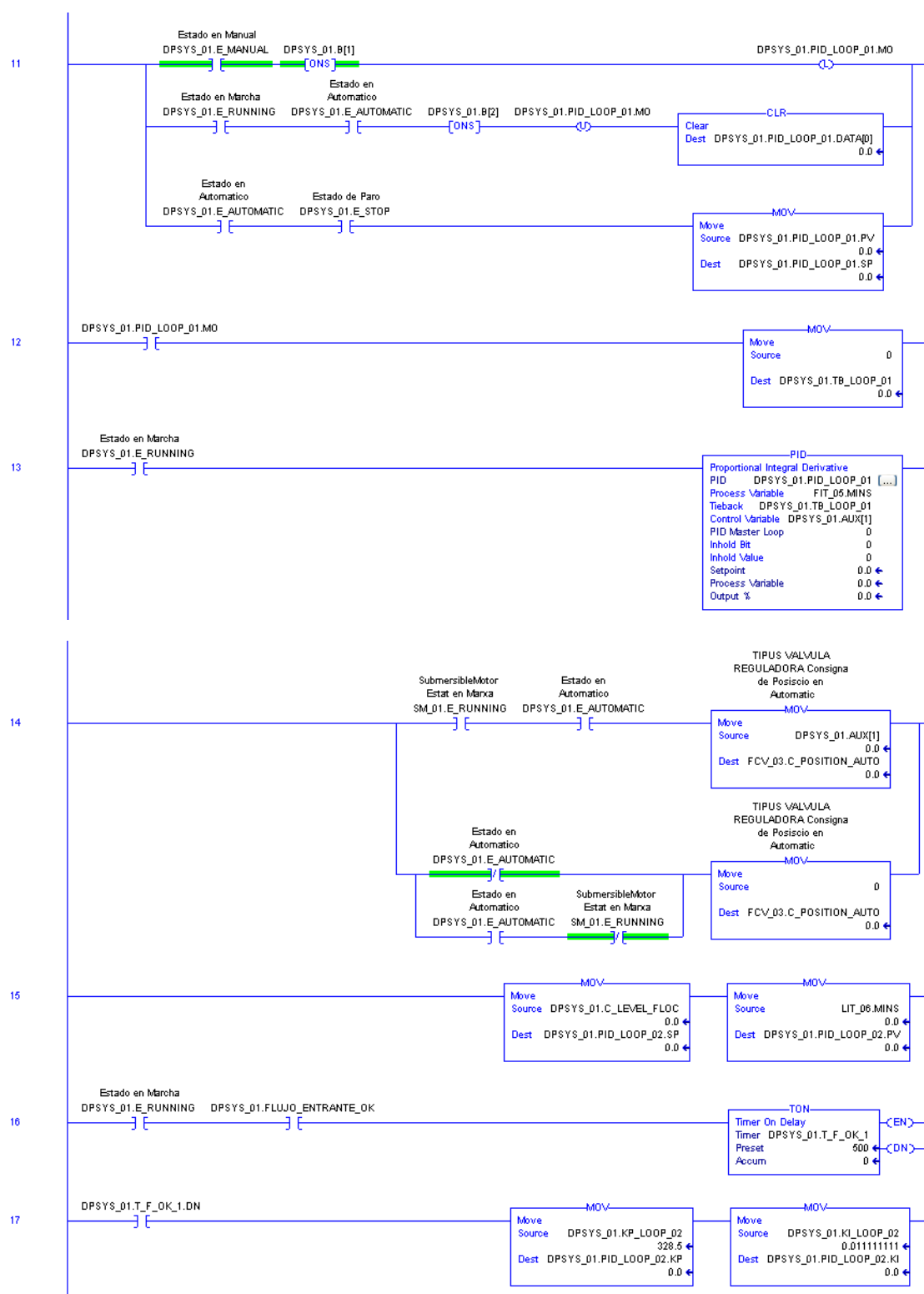


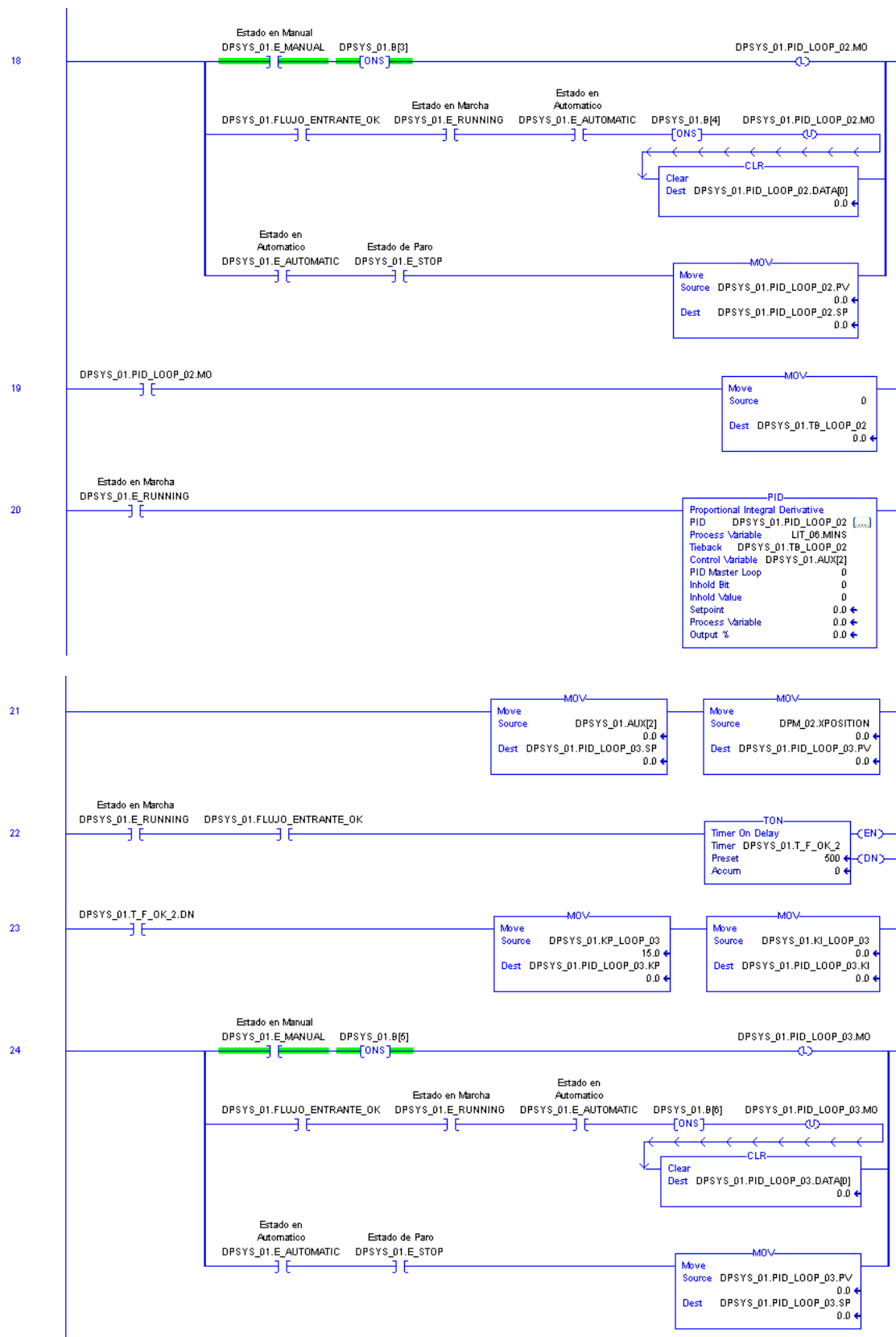
Rutina_70_PrimaryDecanted

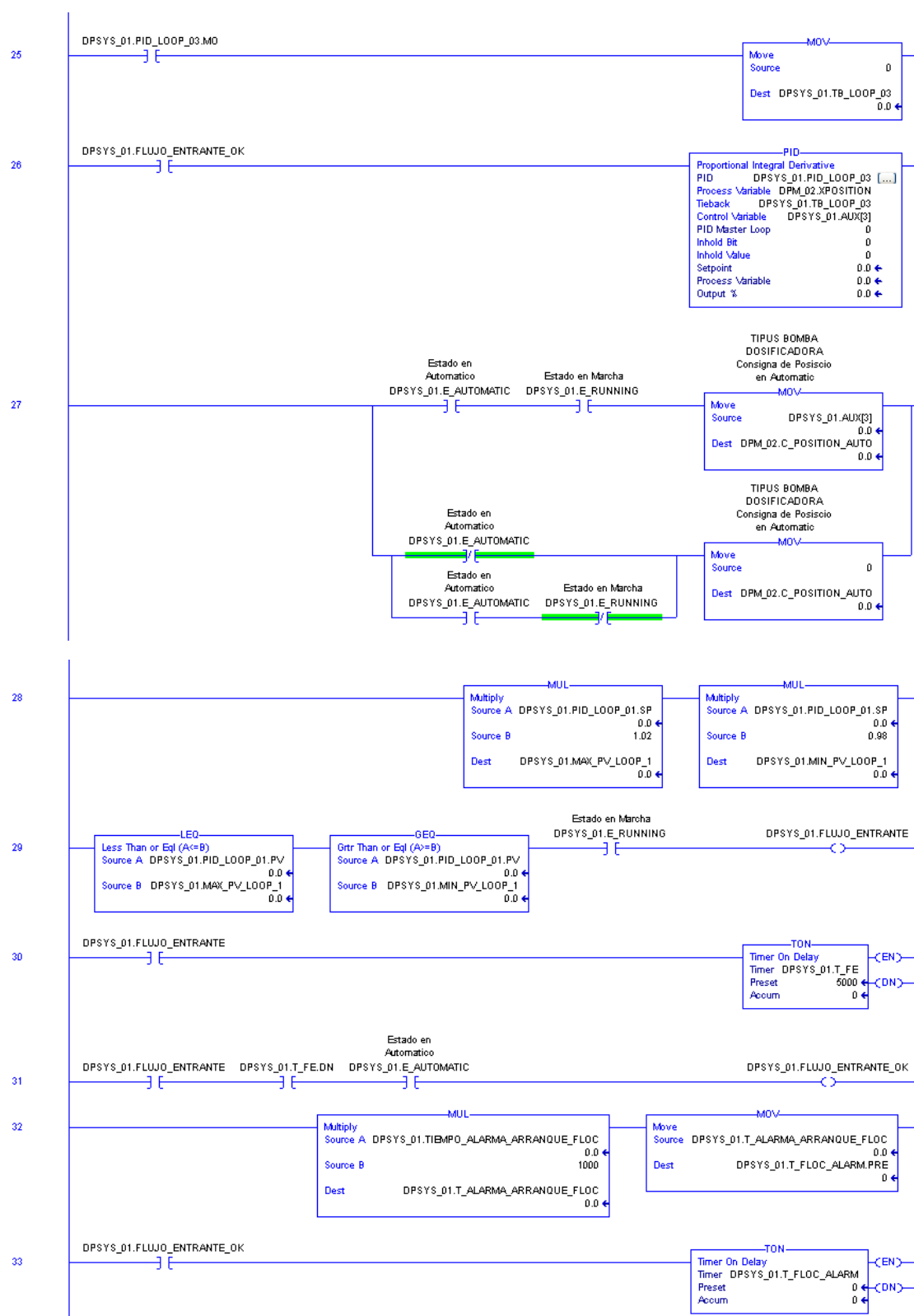


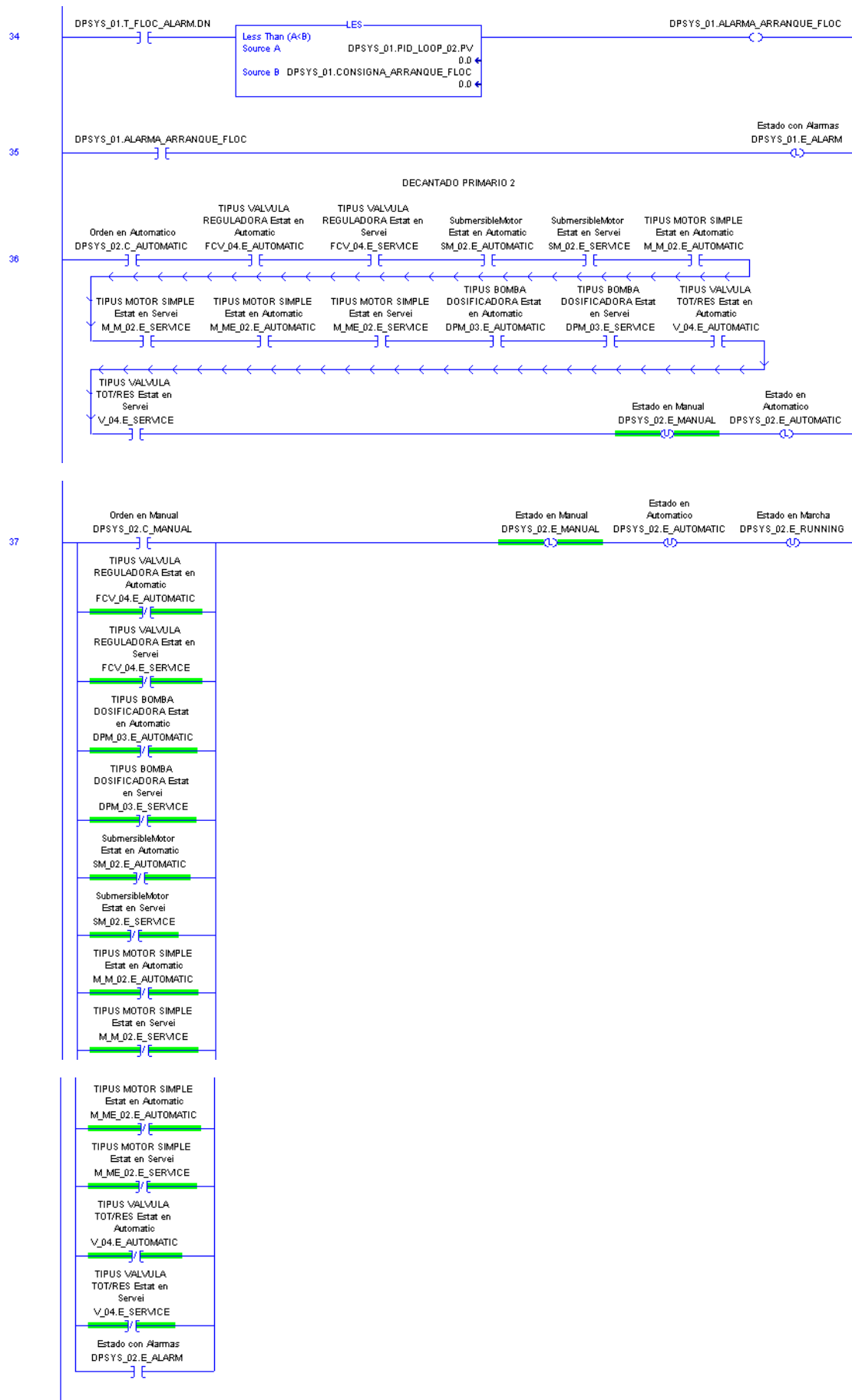


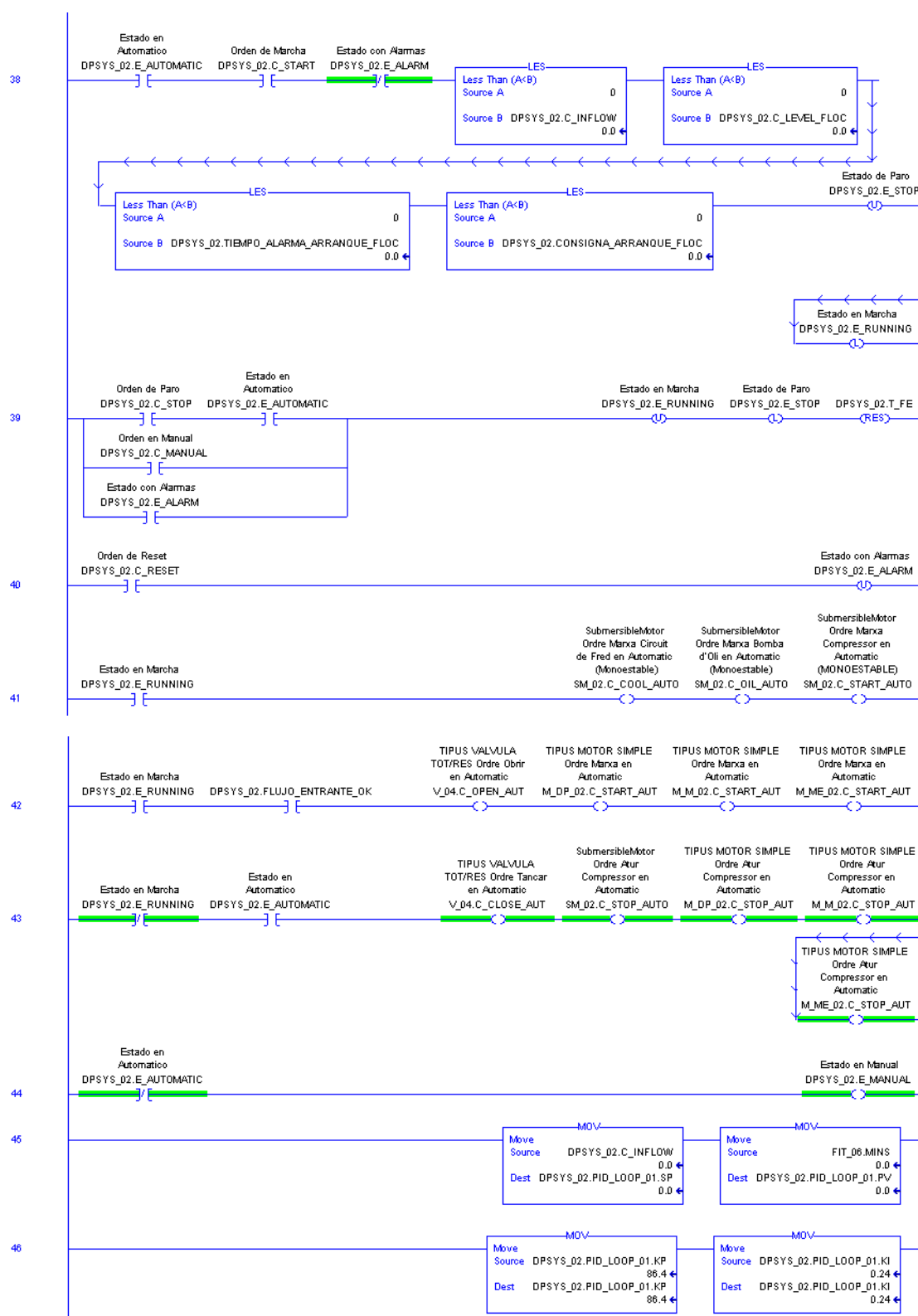


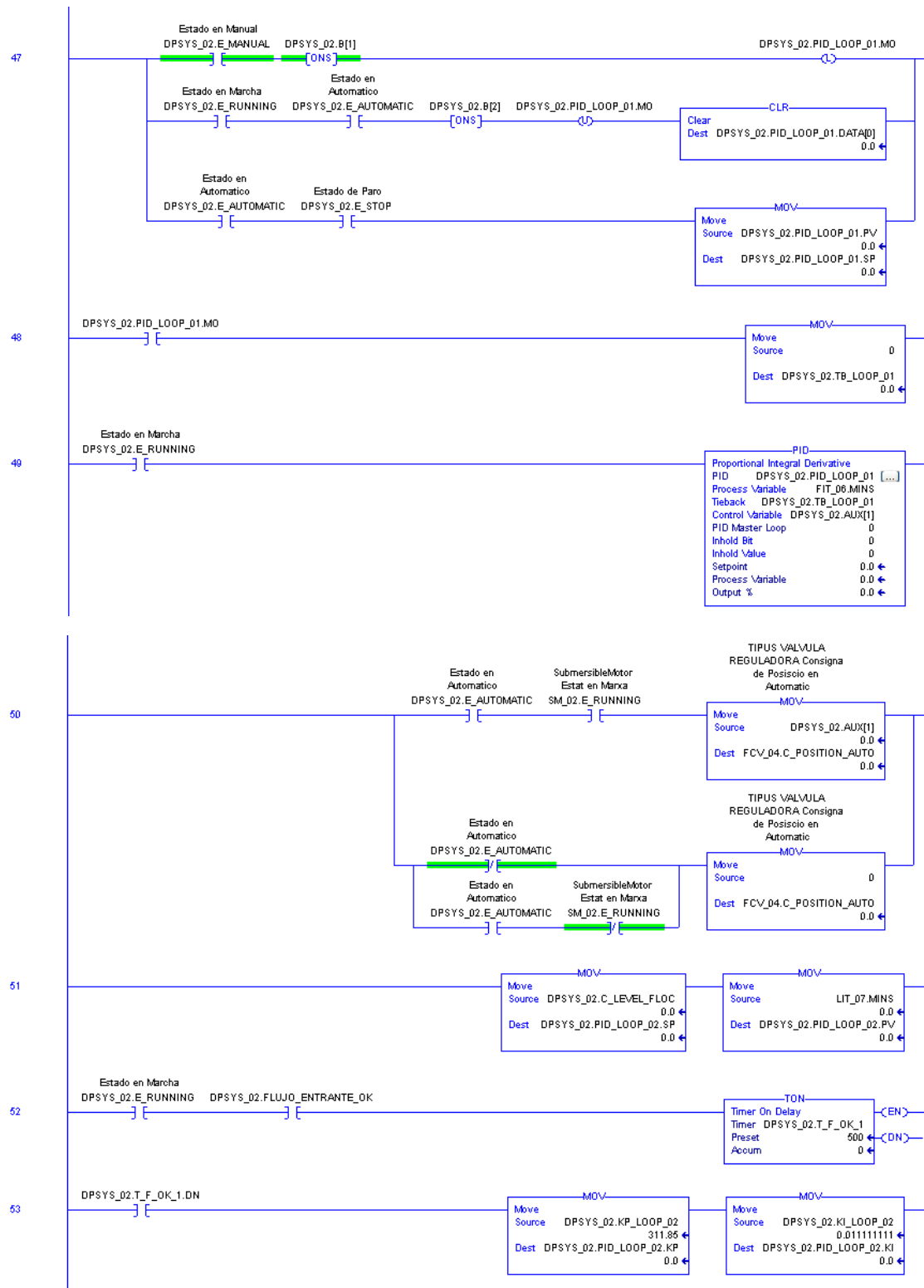


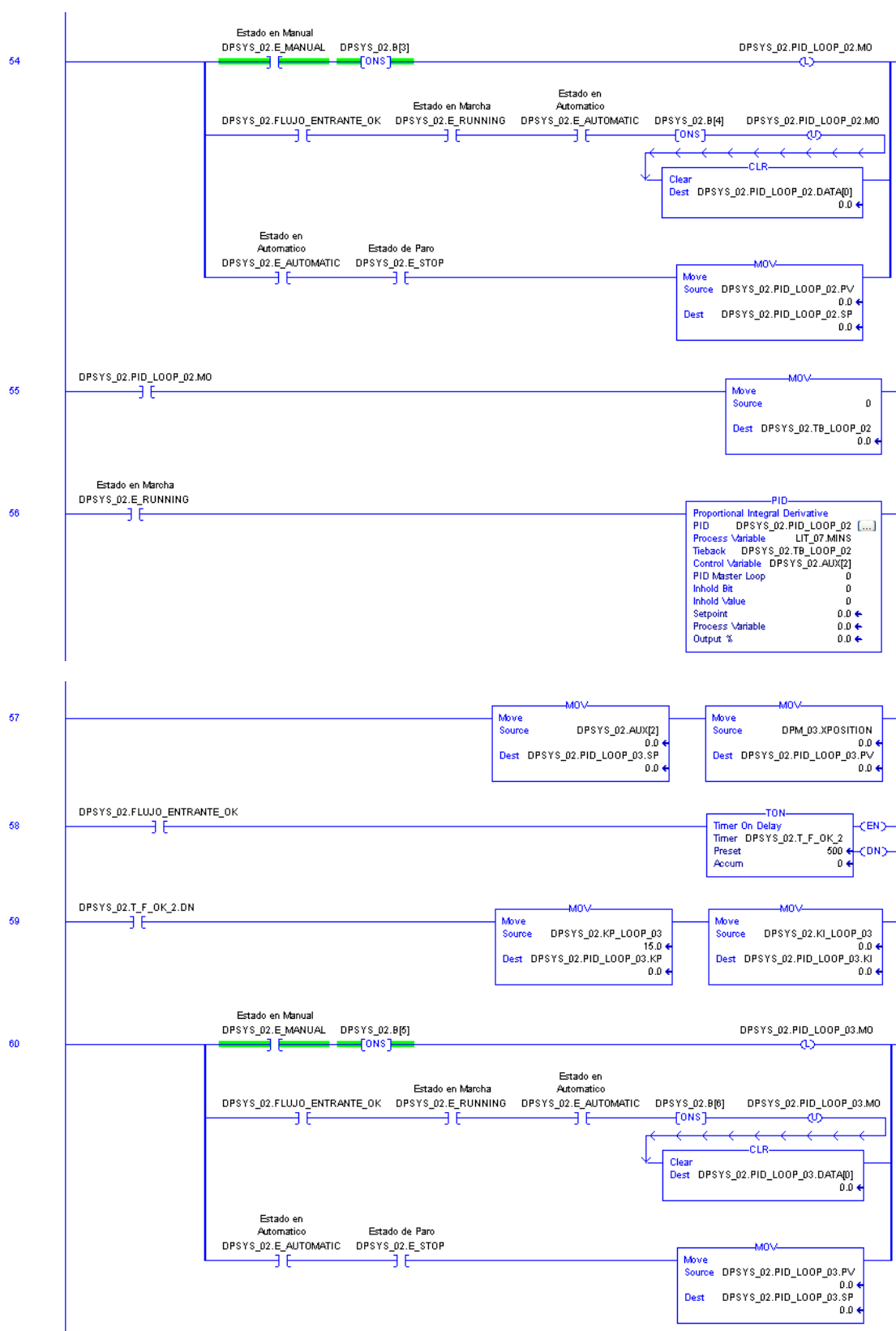


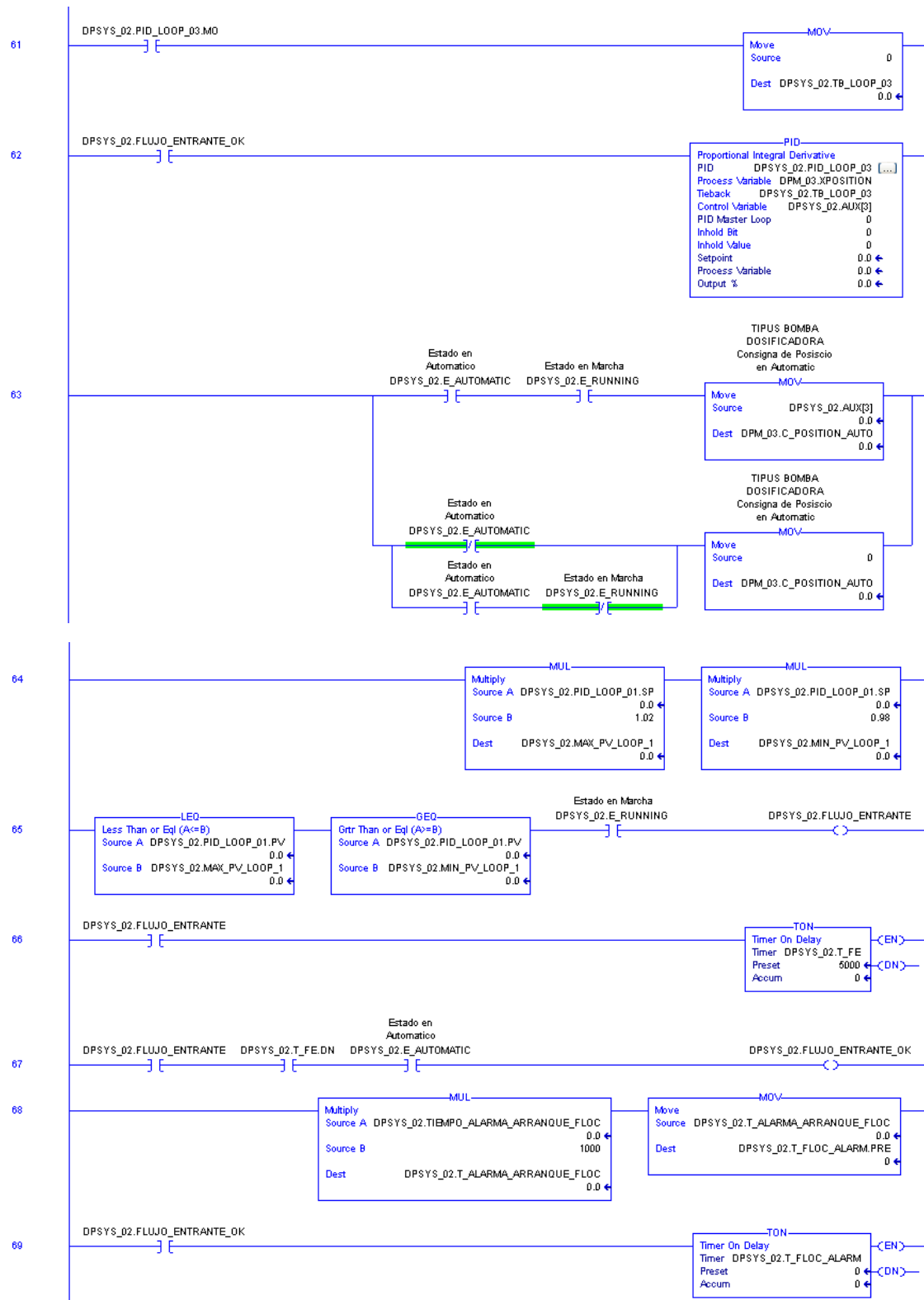


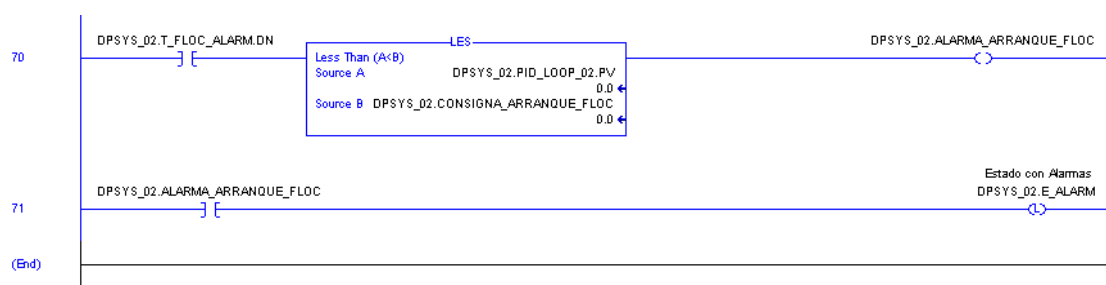






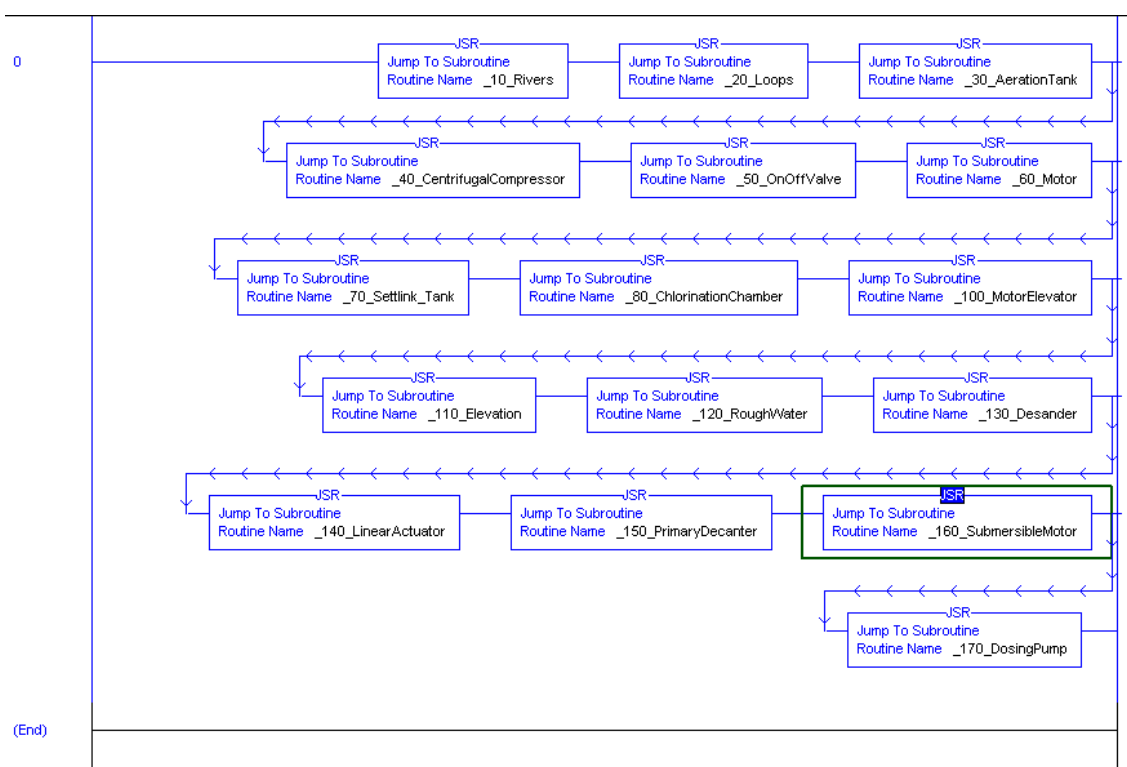




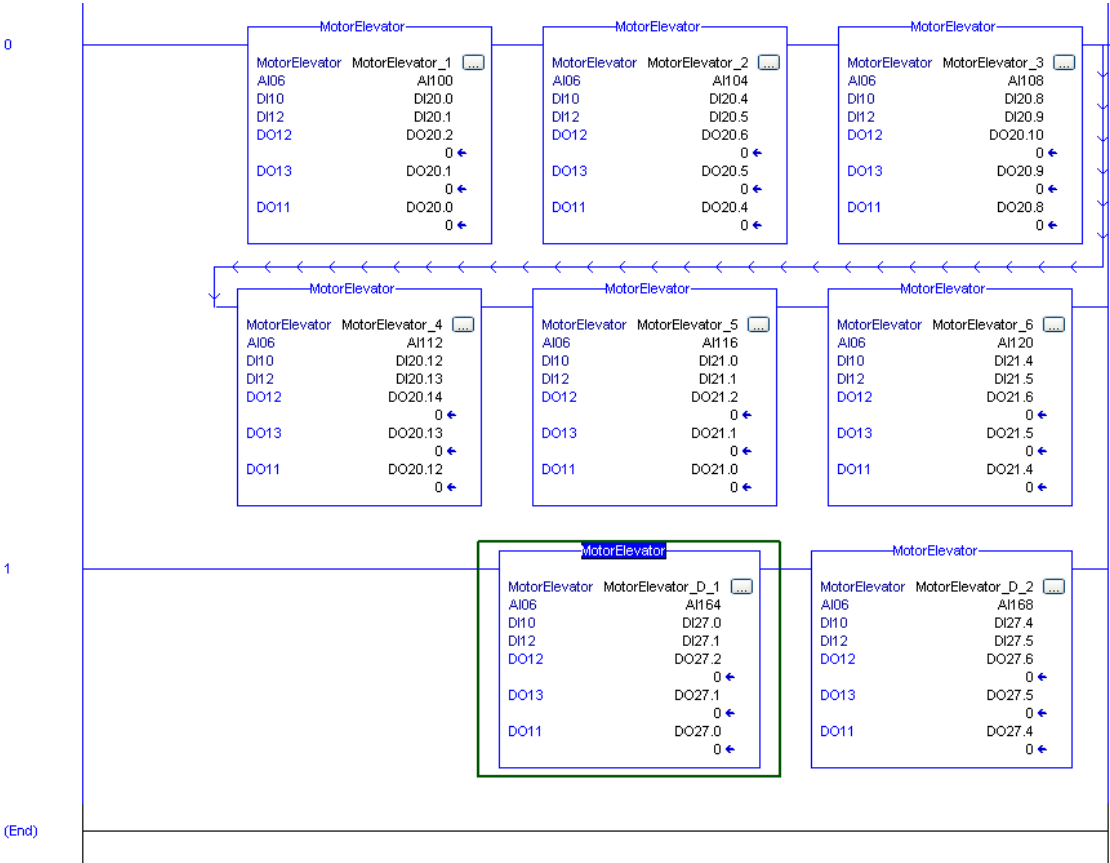


PROGRAMA PLANT_SIMULATION

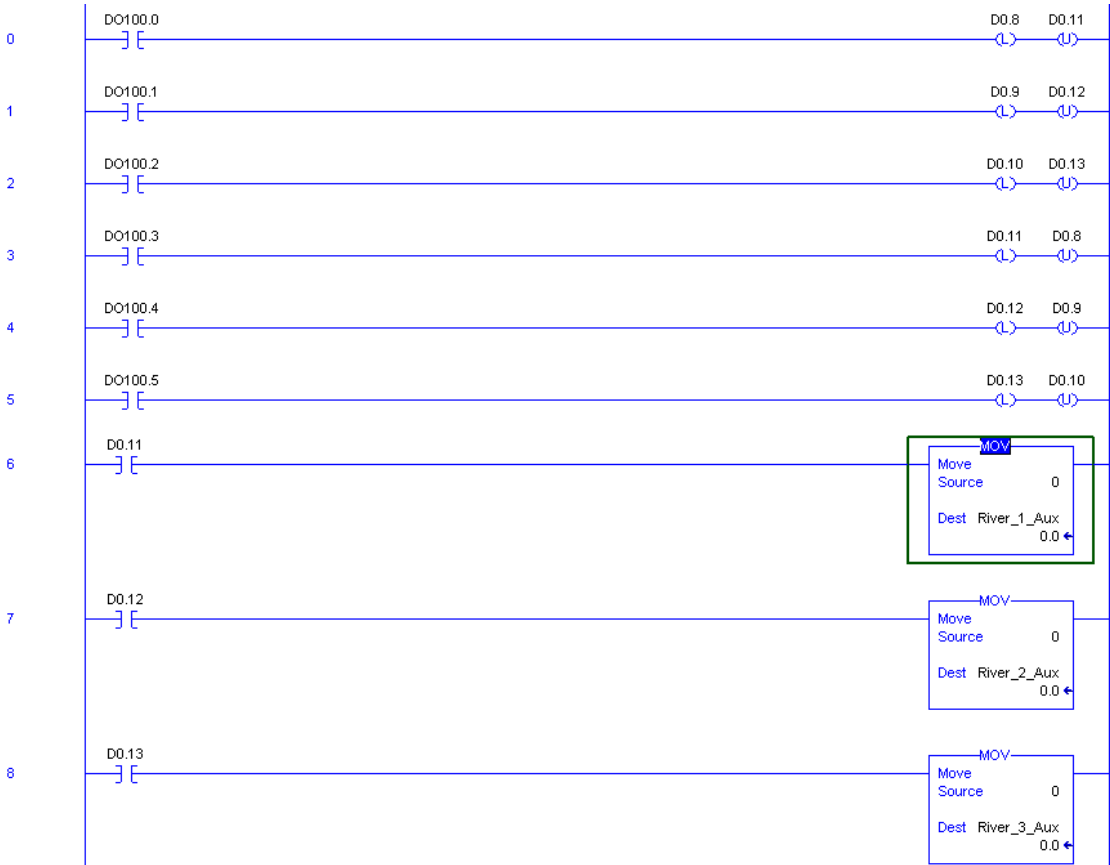
Rutina _00_MainRoutine



Rutina _100_MotorElevator

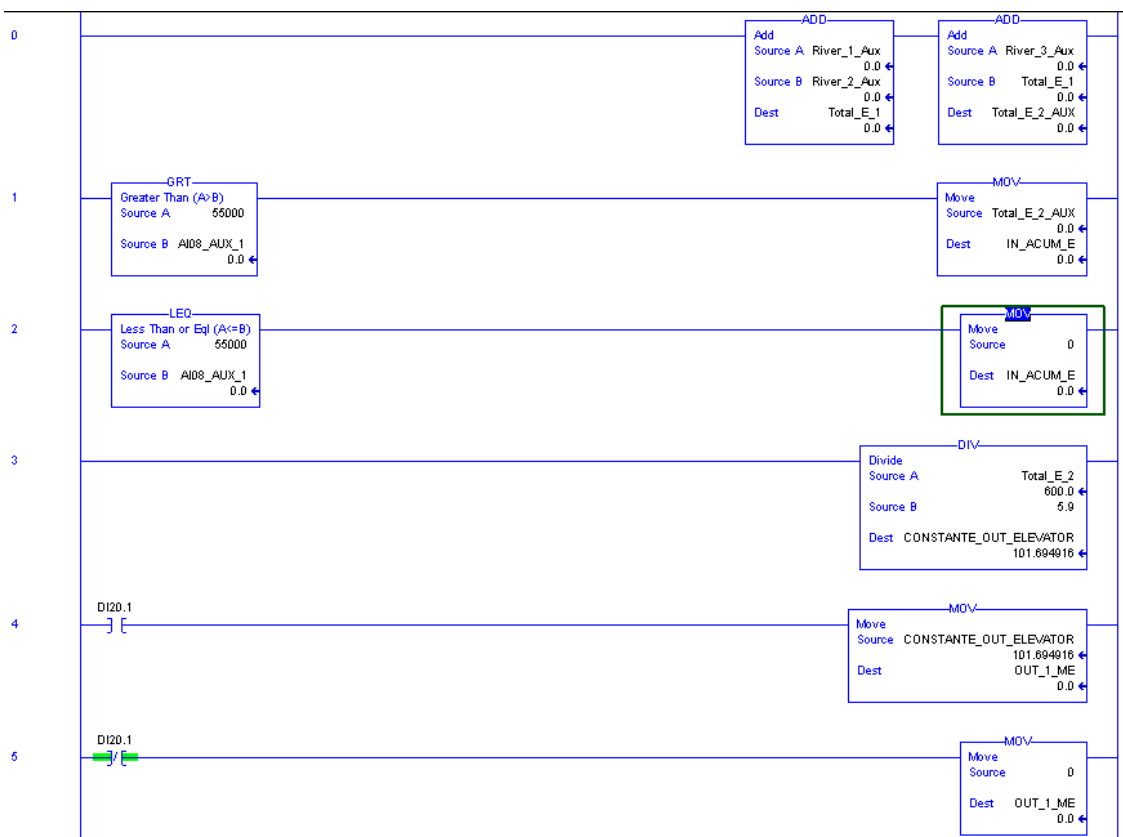


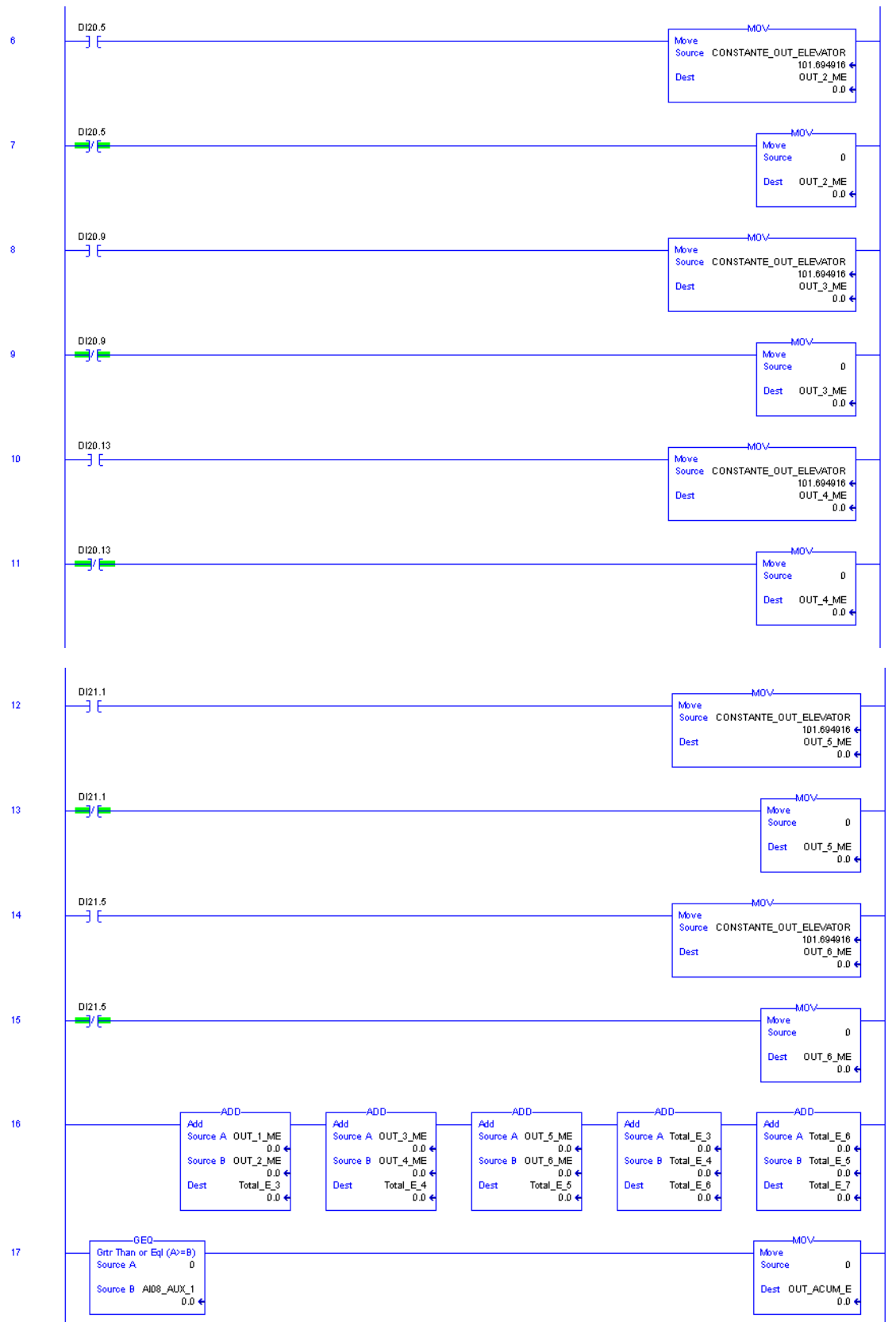
Rutina _10_Rivers

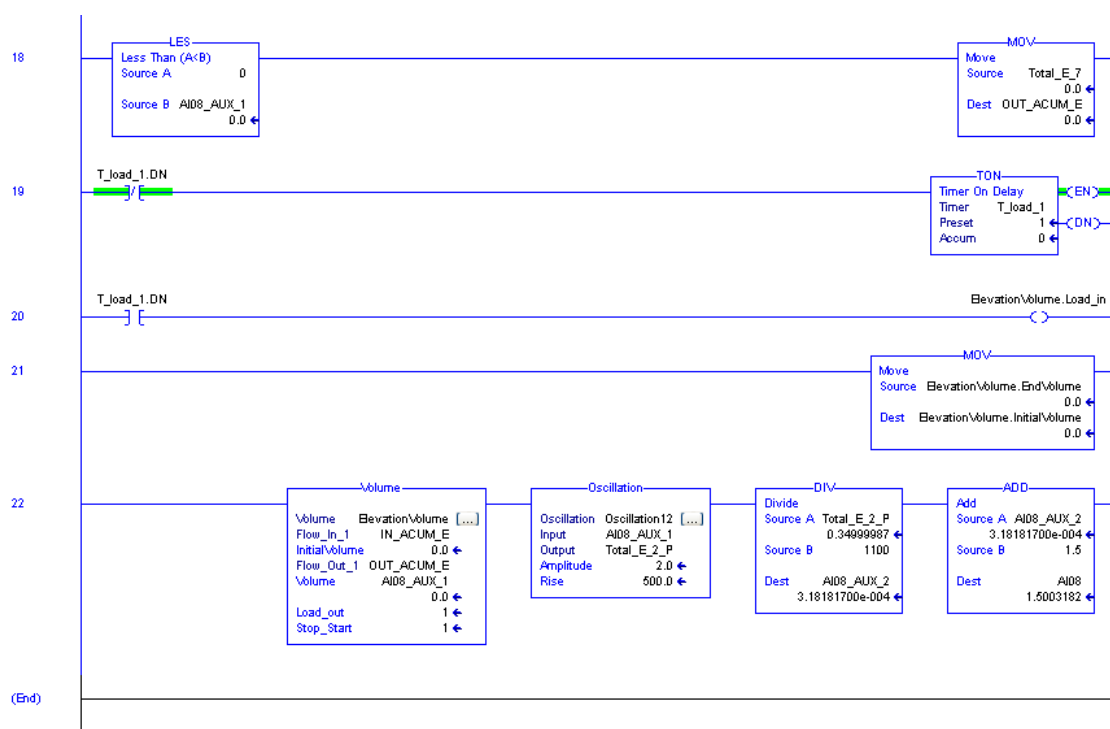




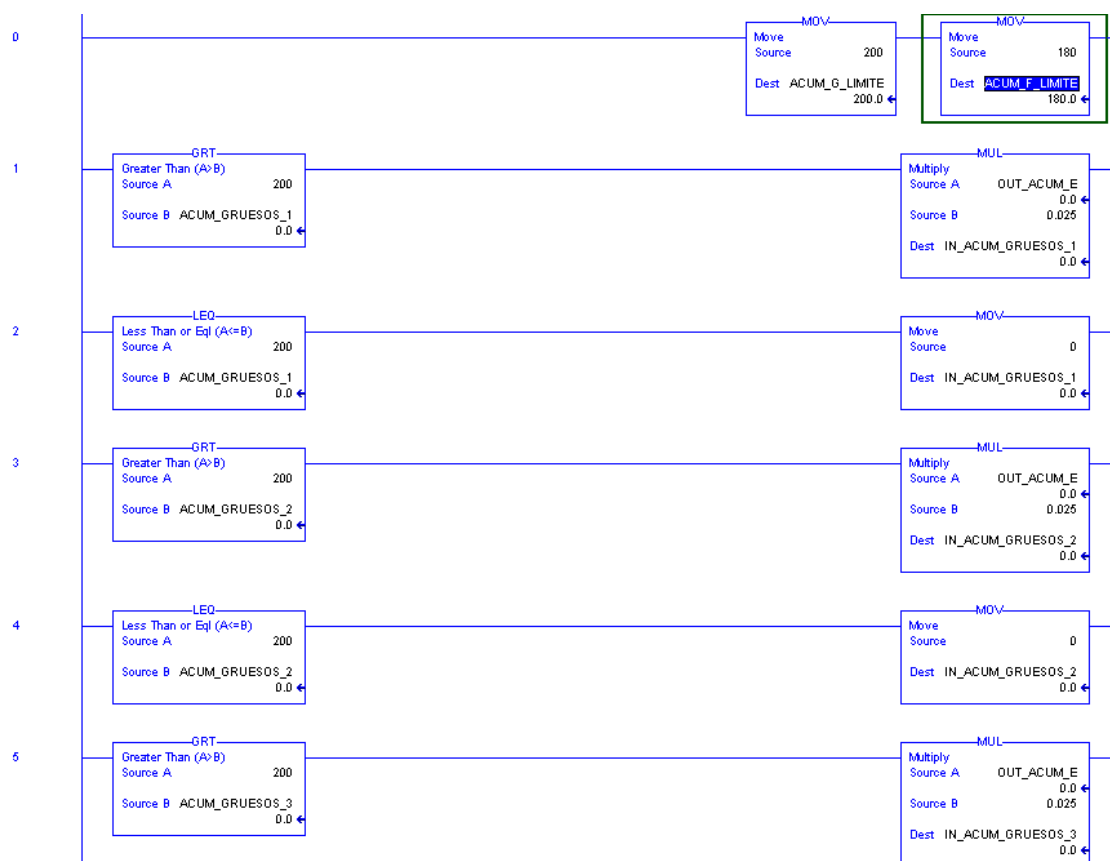
Rutina _110_Elevation

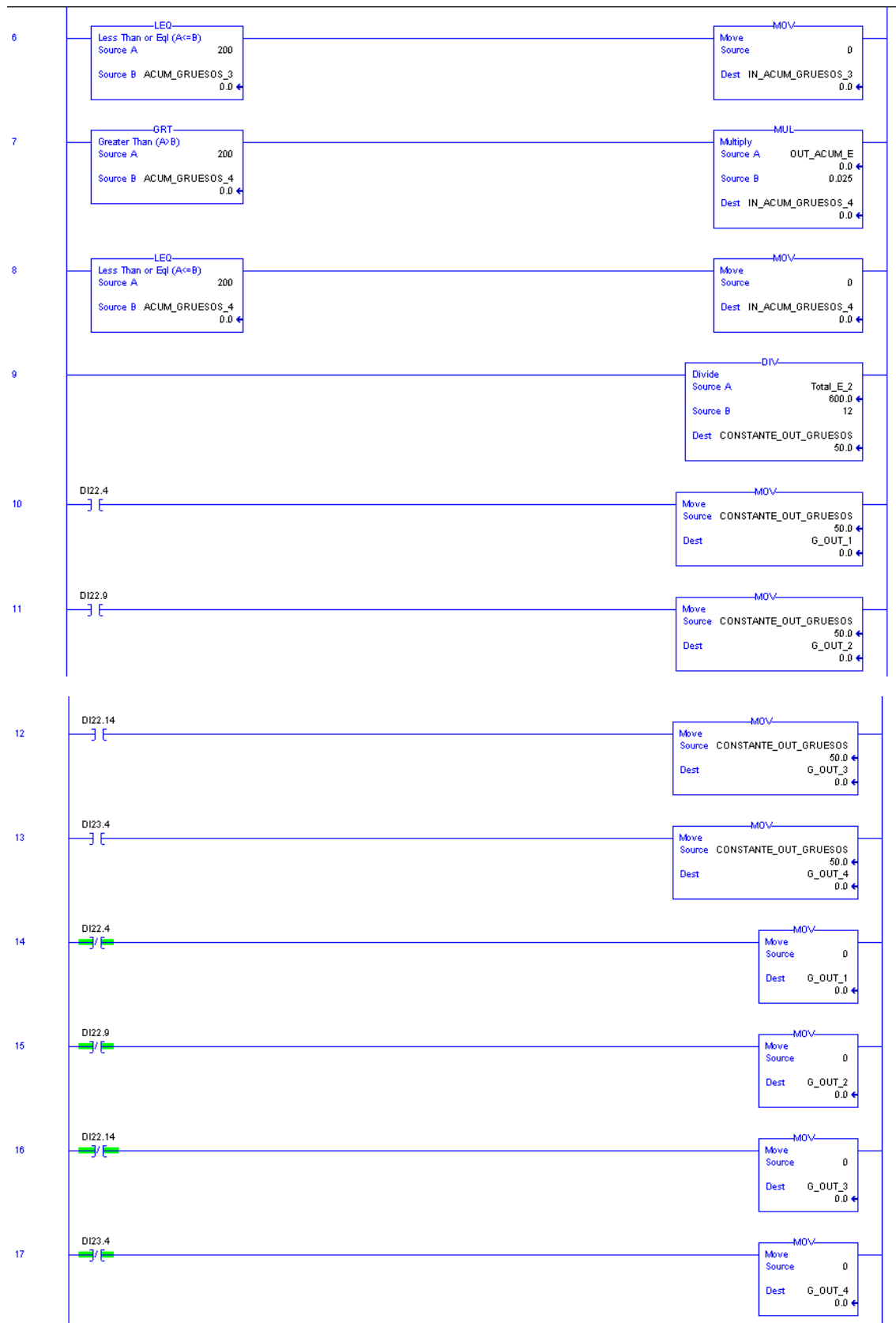


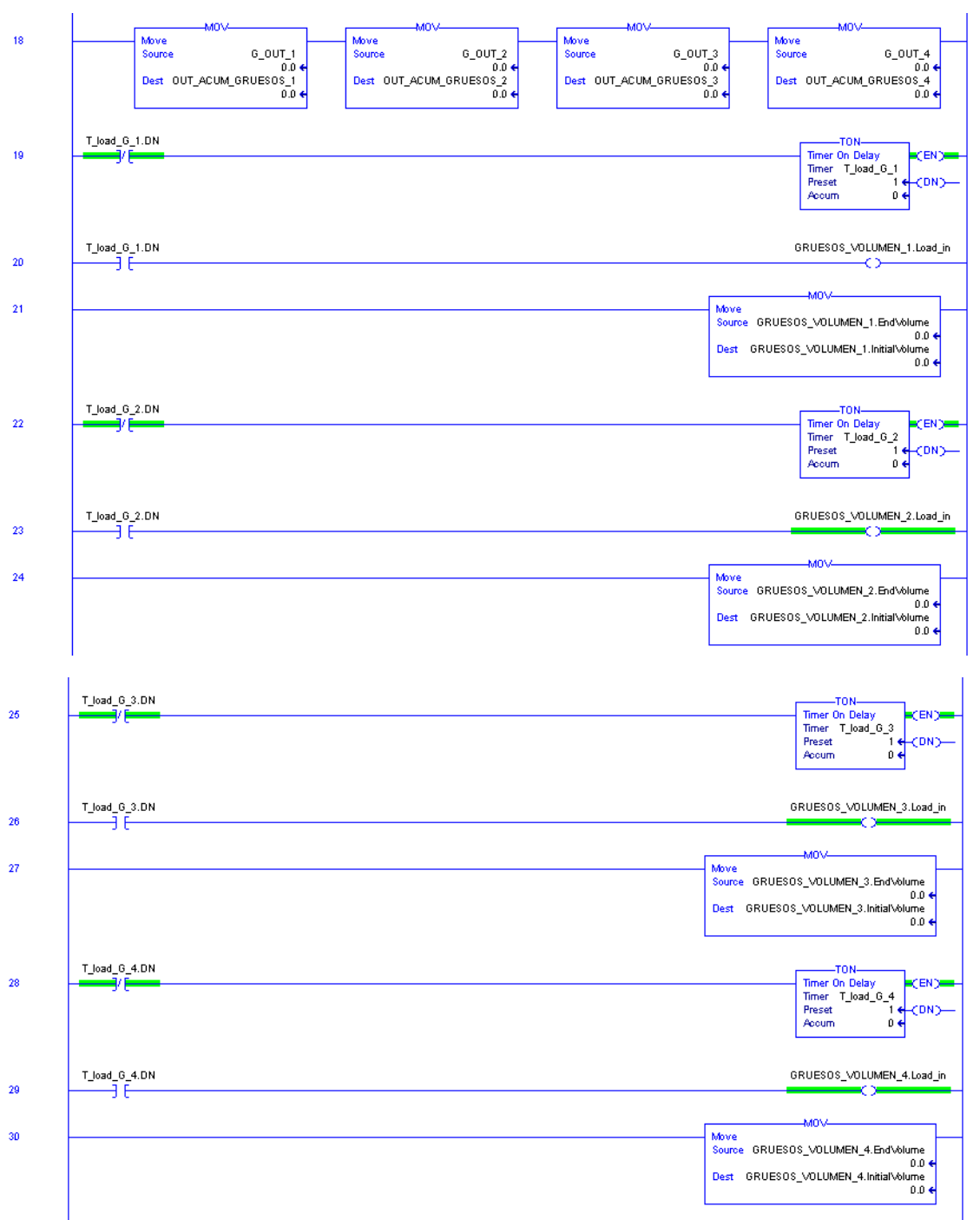


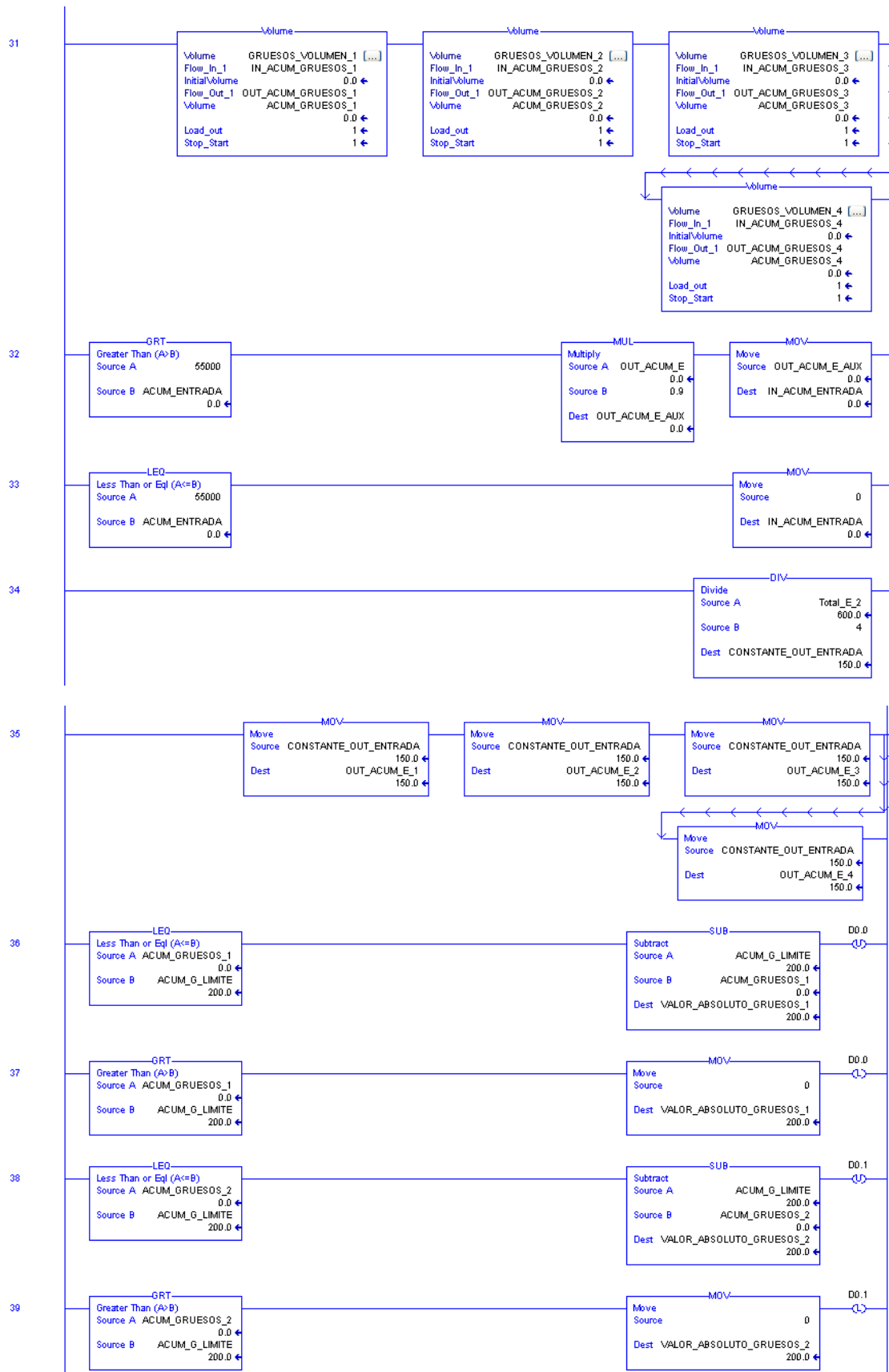


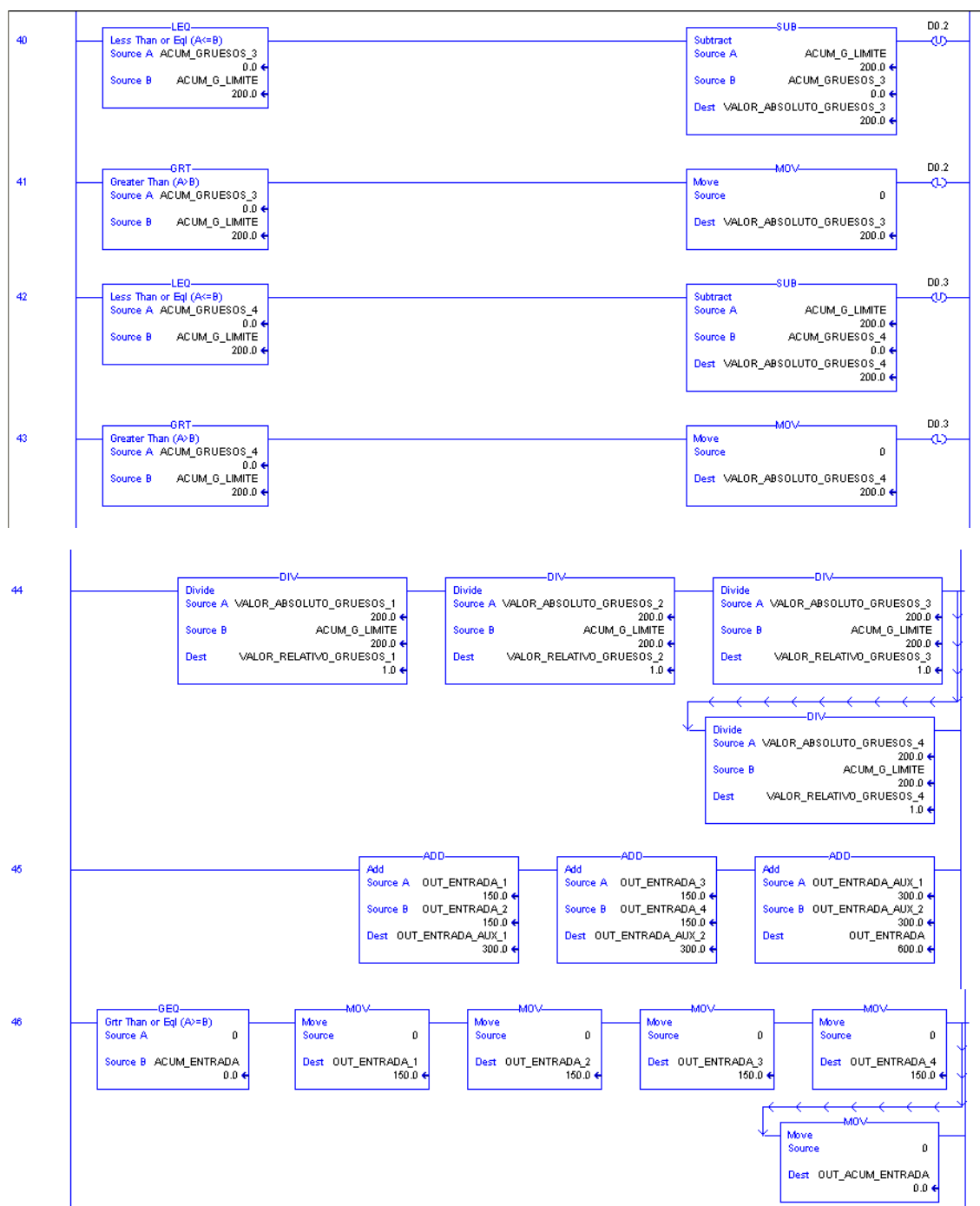
Rutina _120_RoughWater

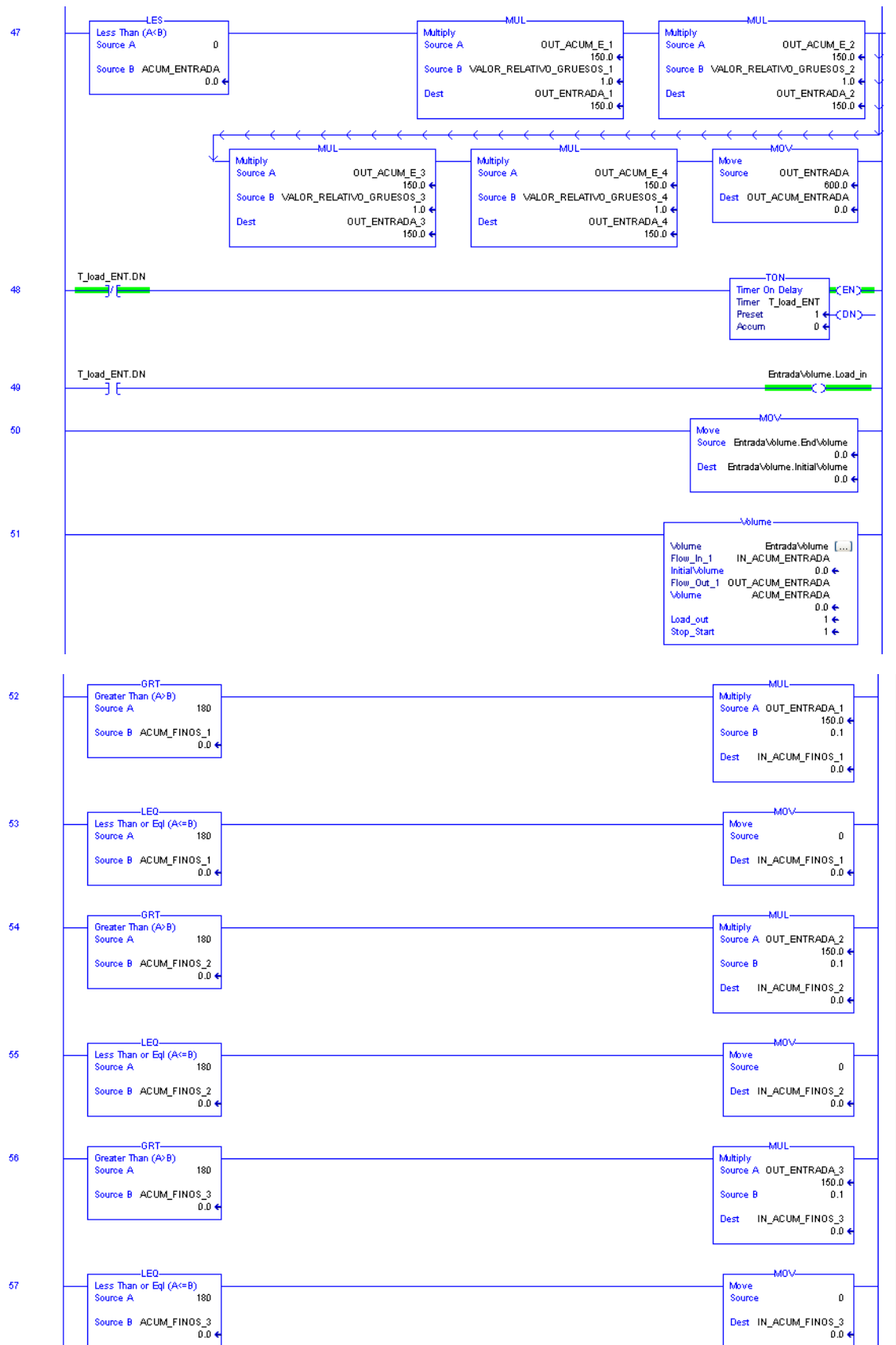




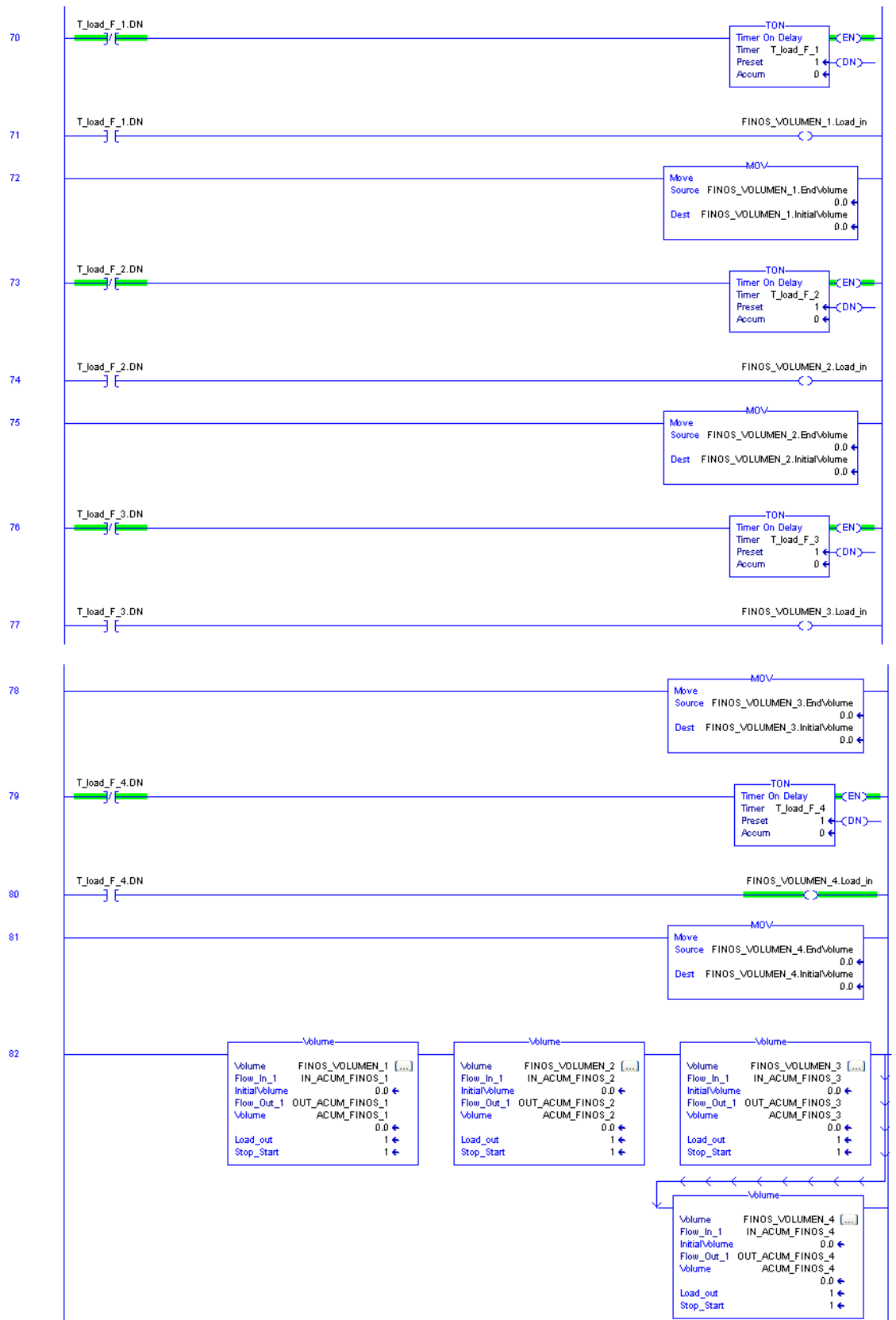


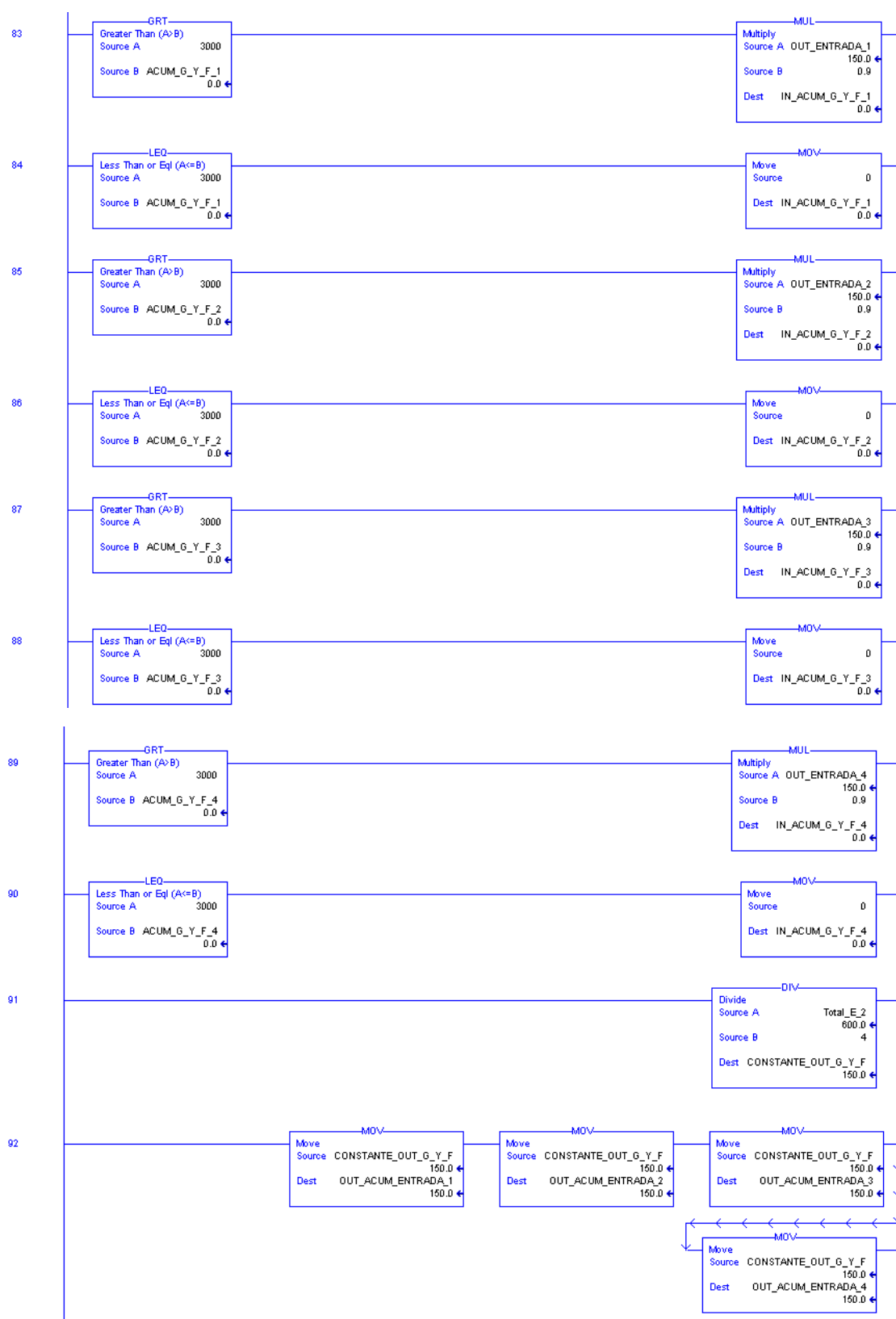


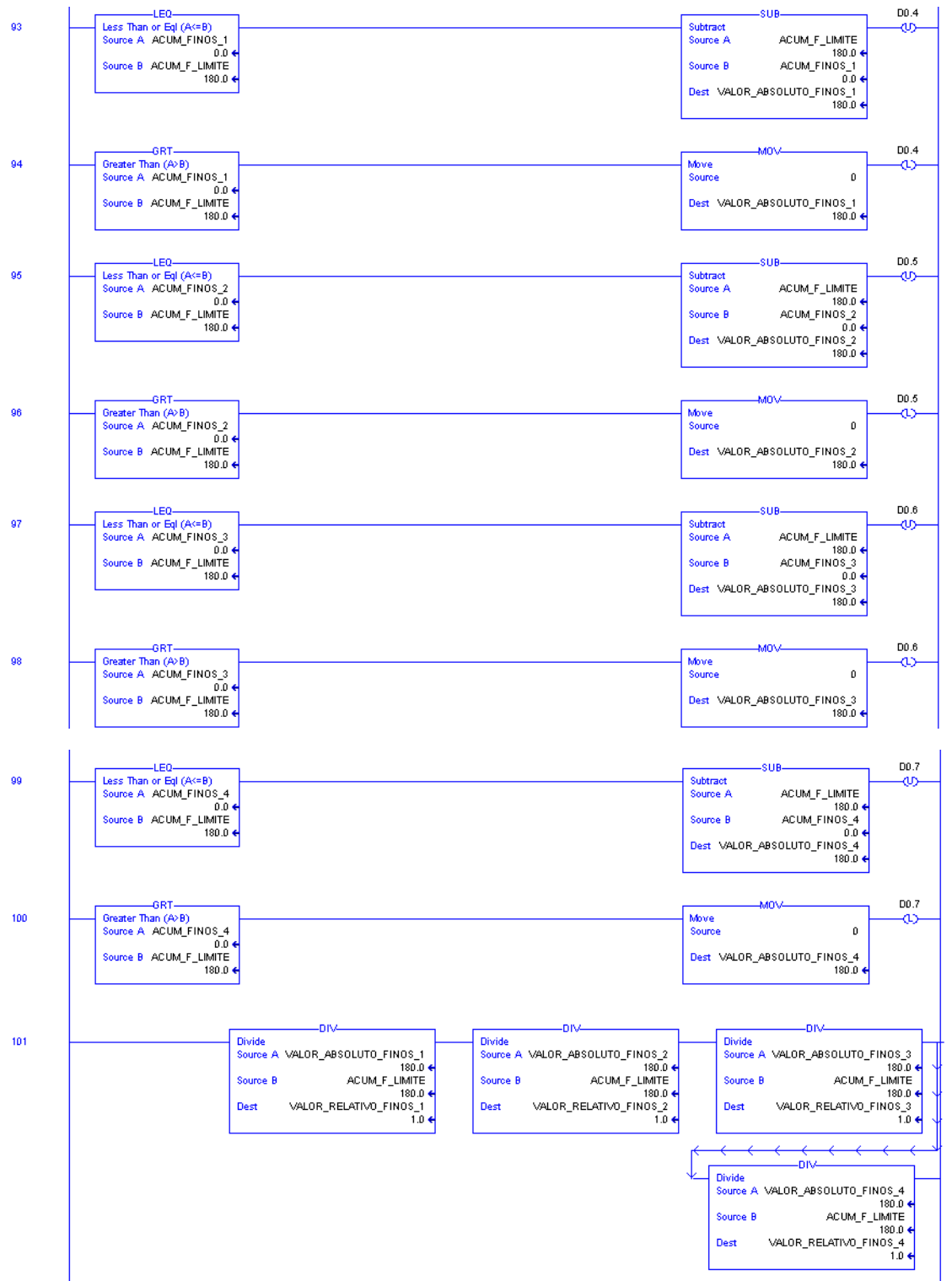


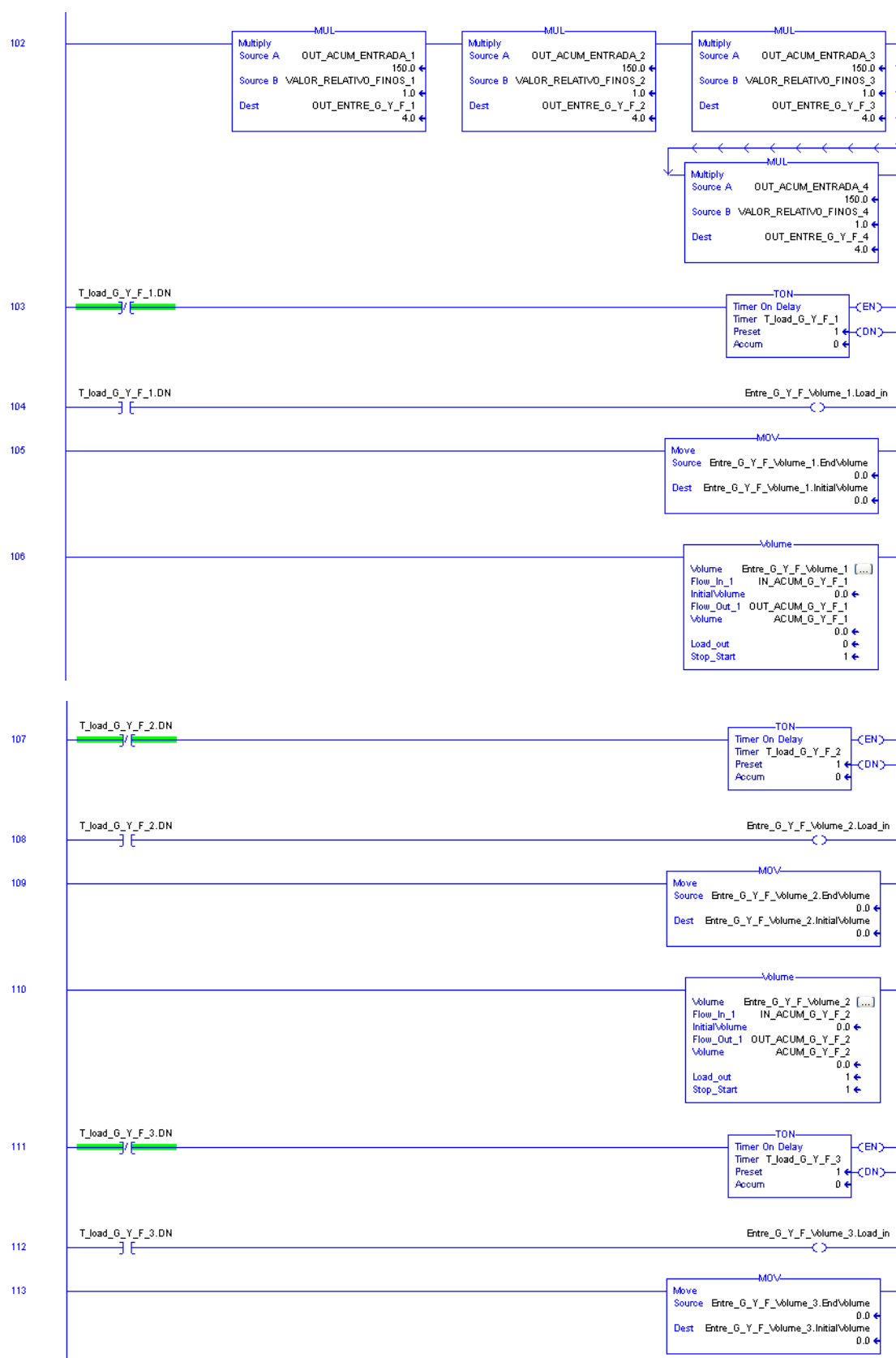


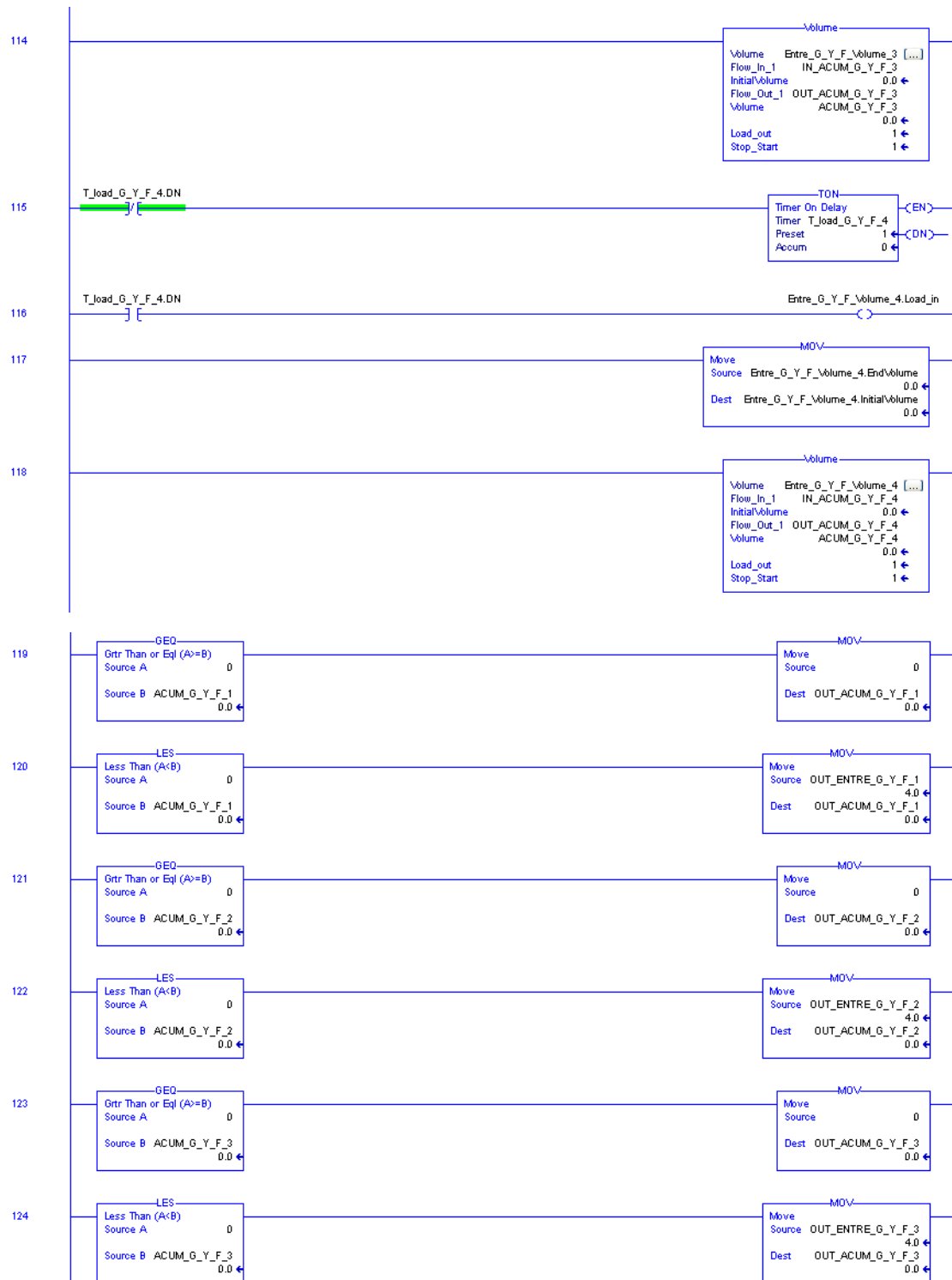


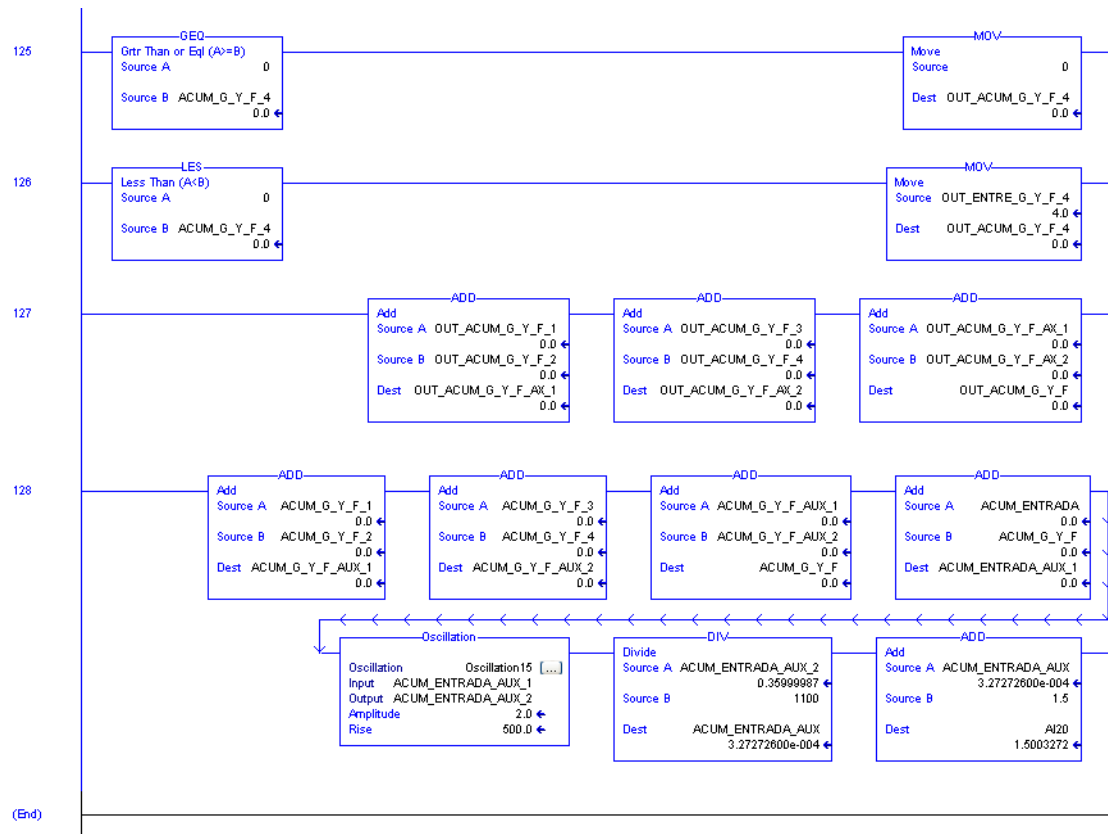




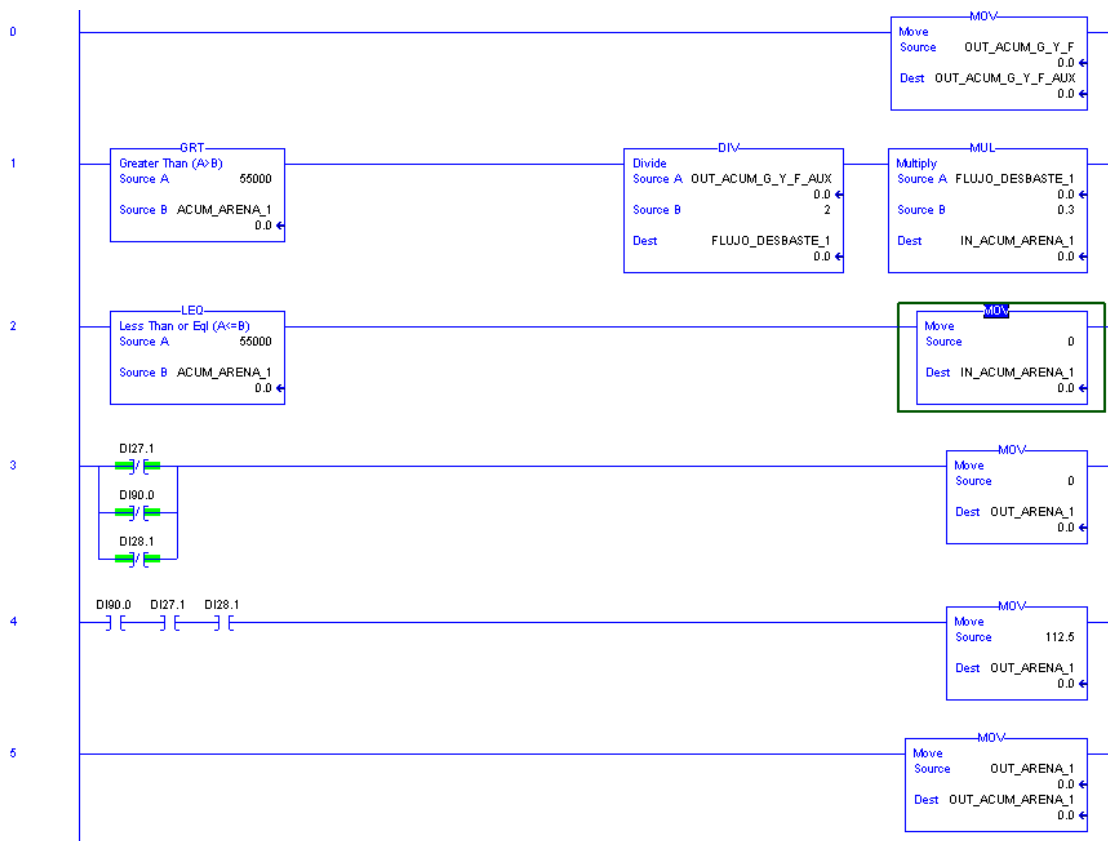


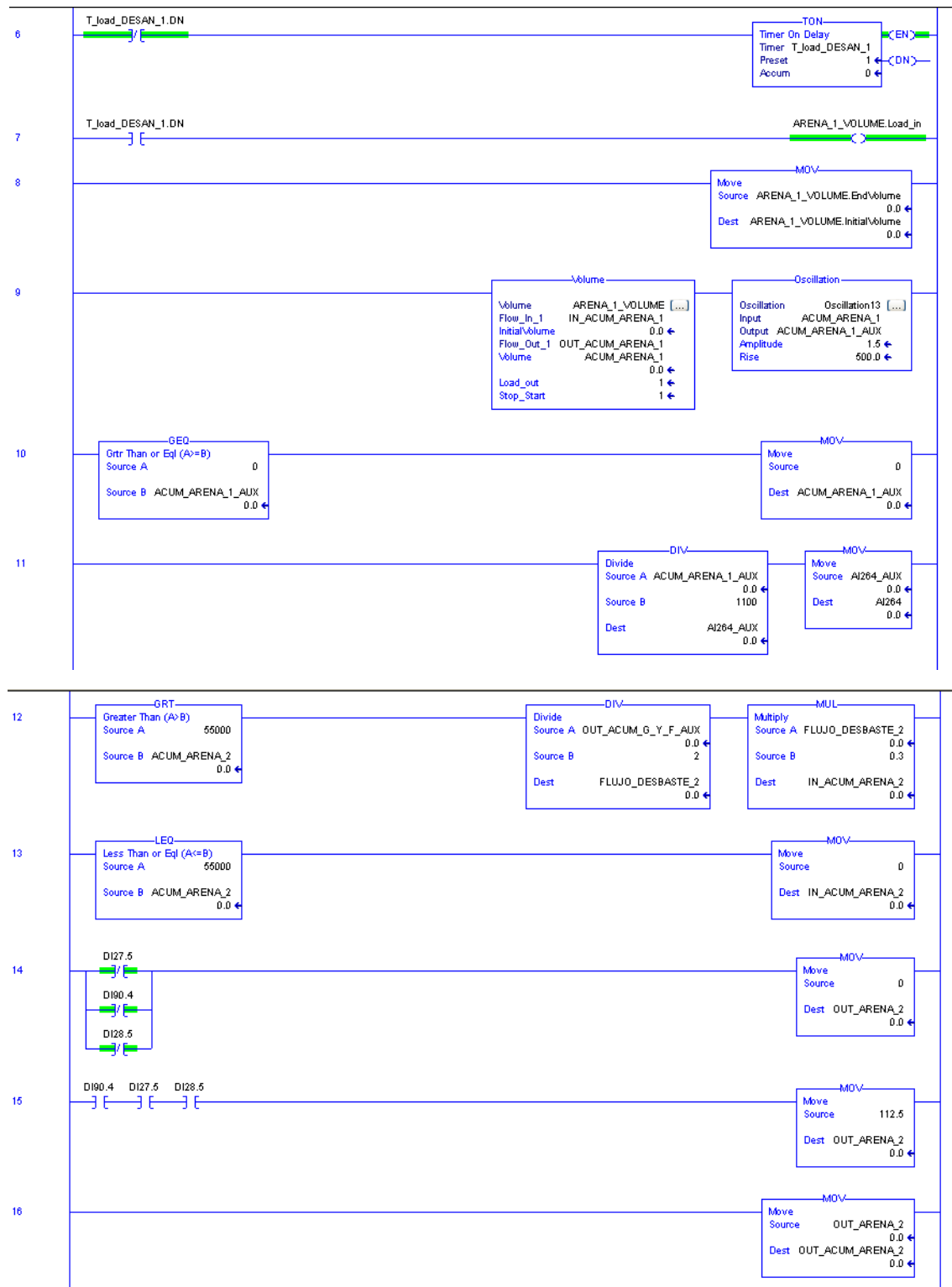


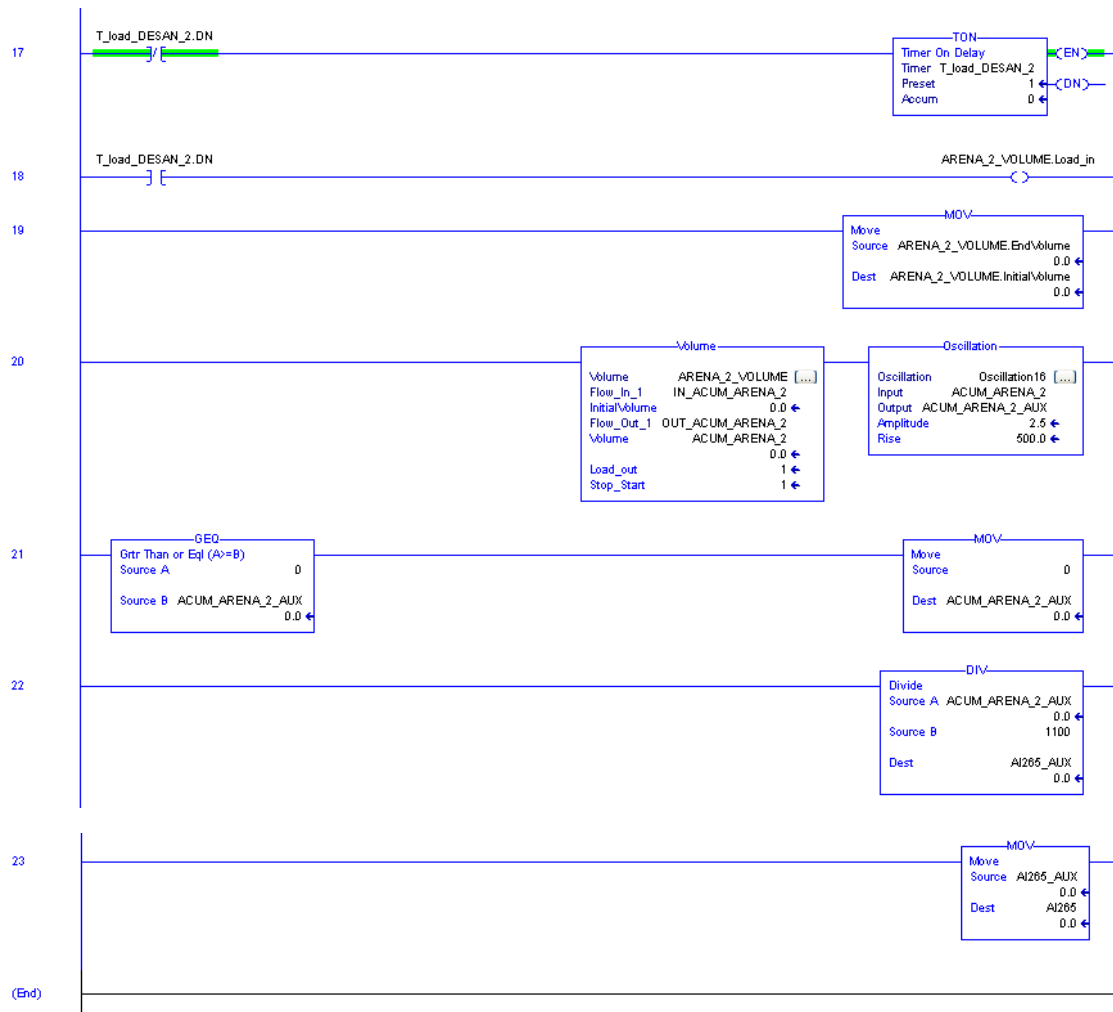




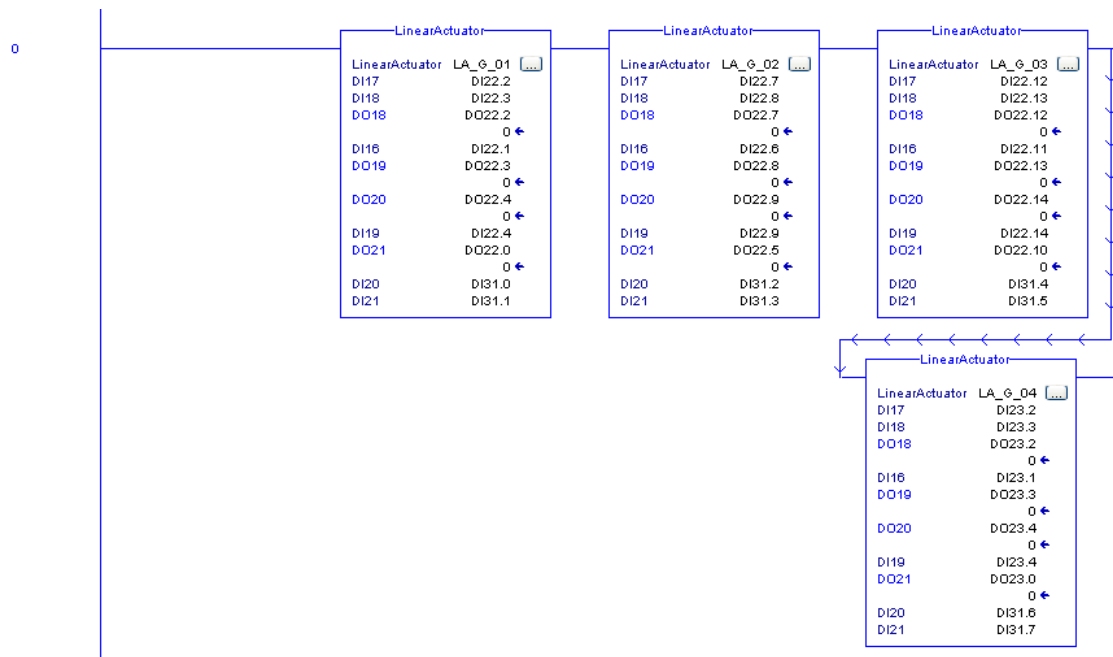
Rutina _130_Desander

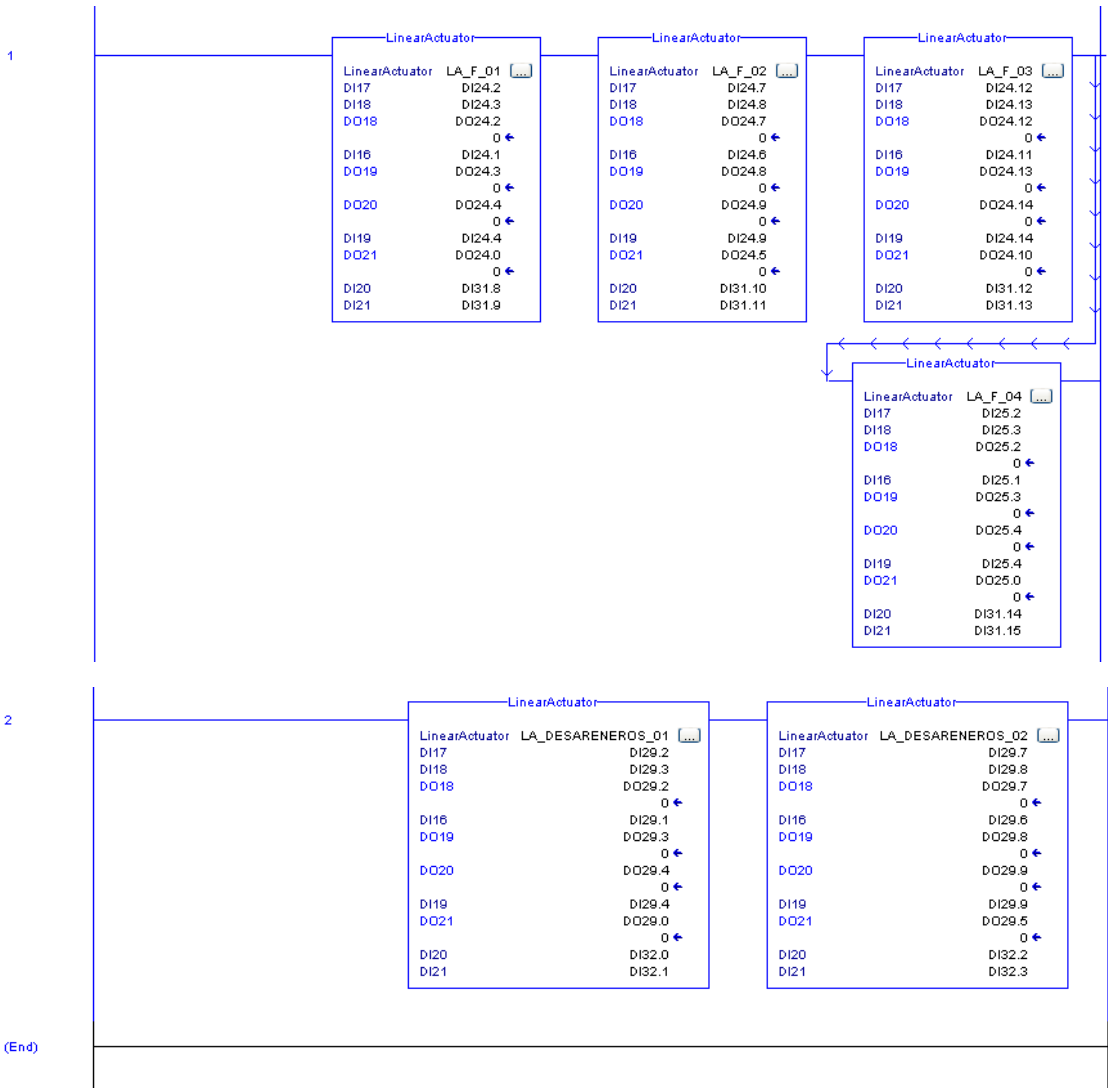




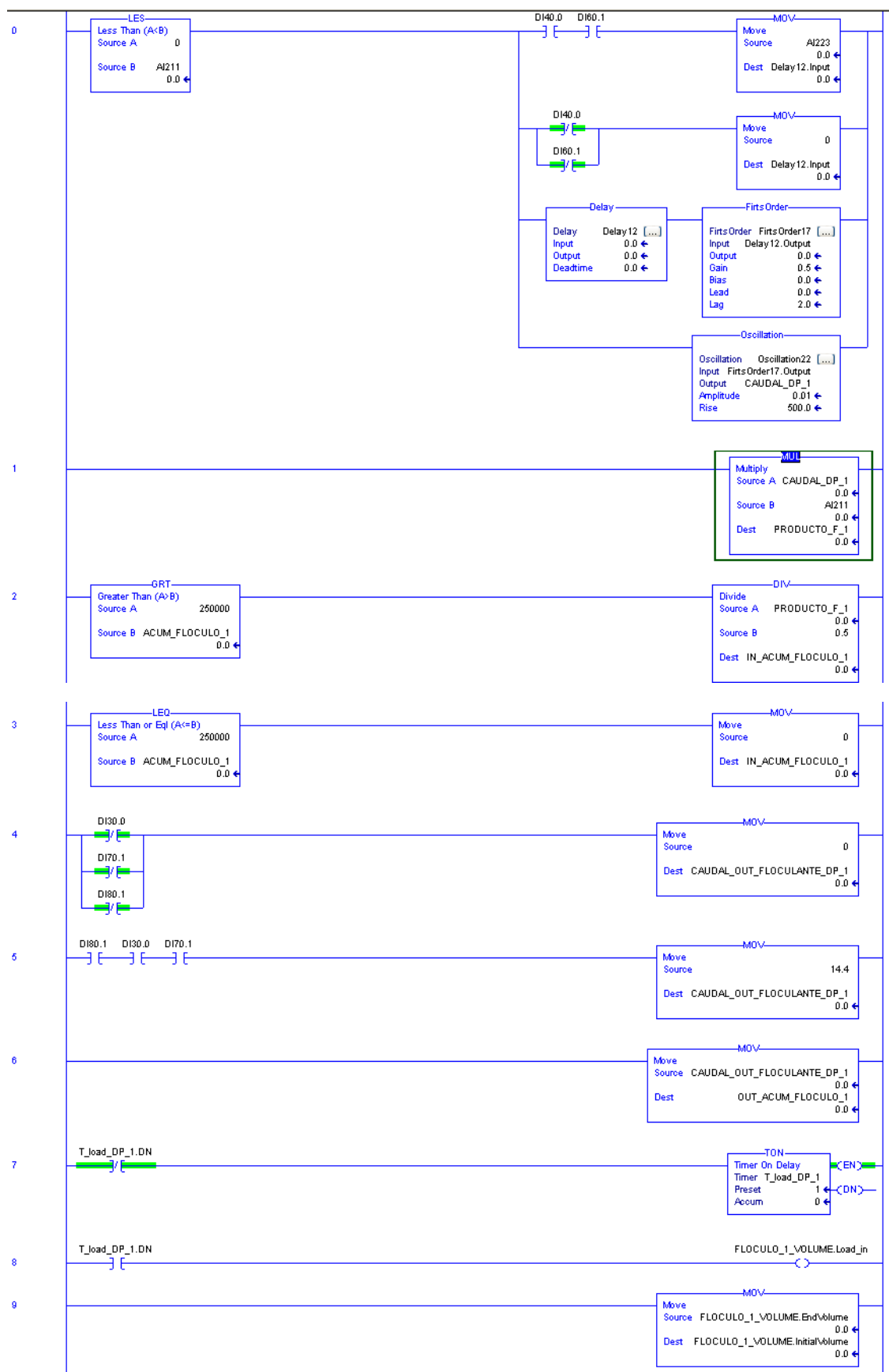


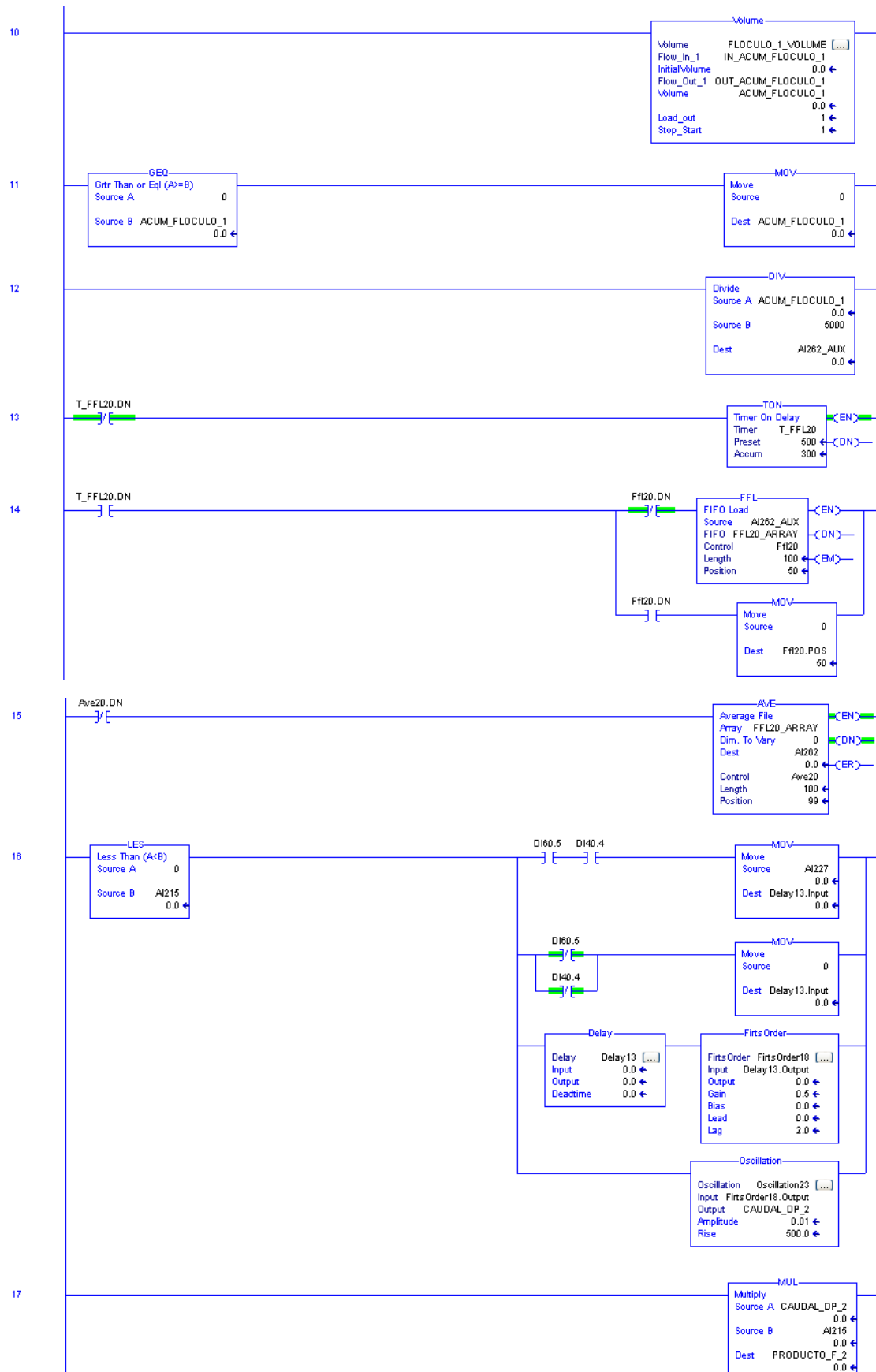
Rutina _140_LinearActuator

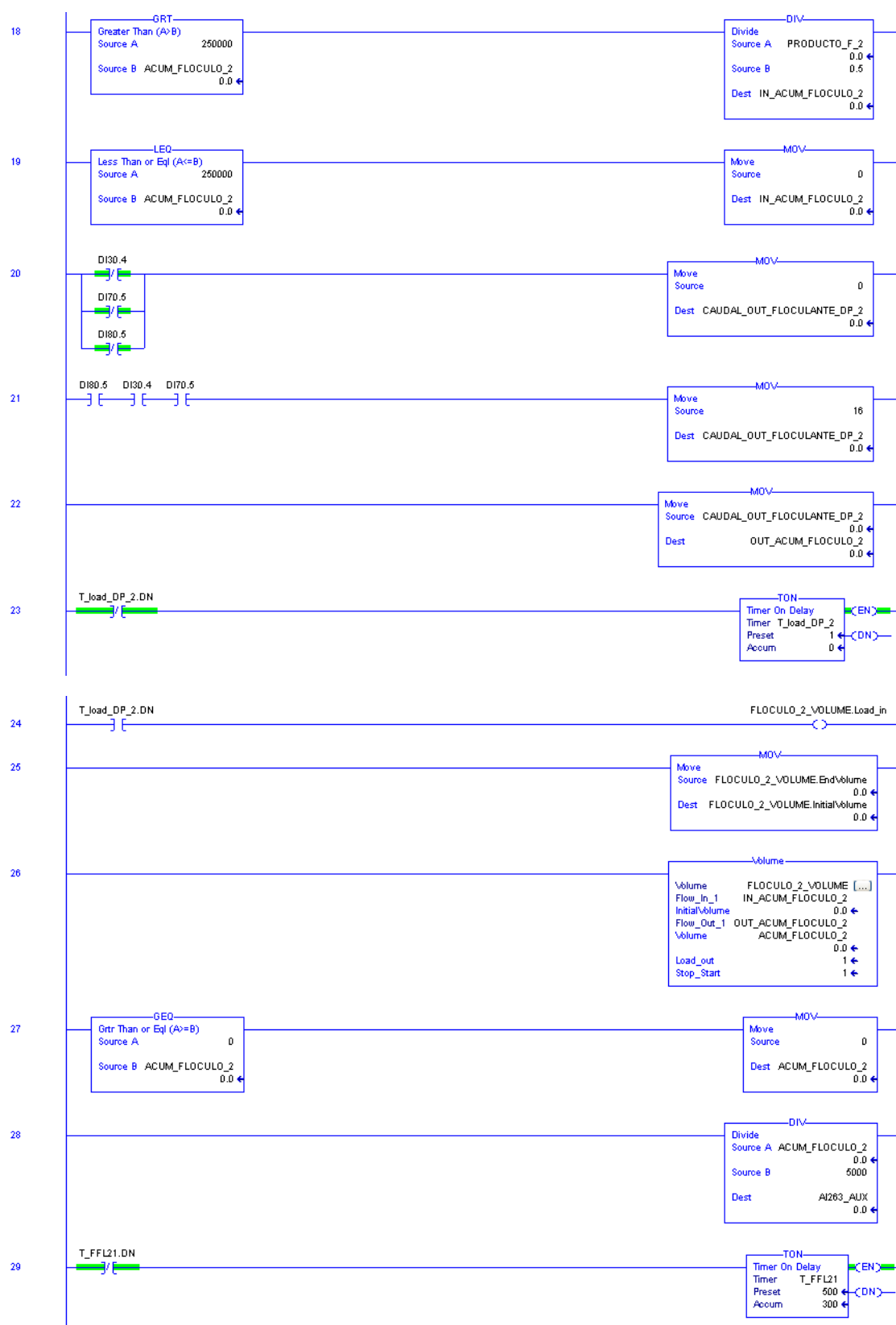


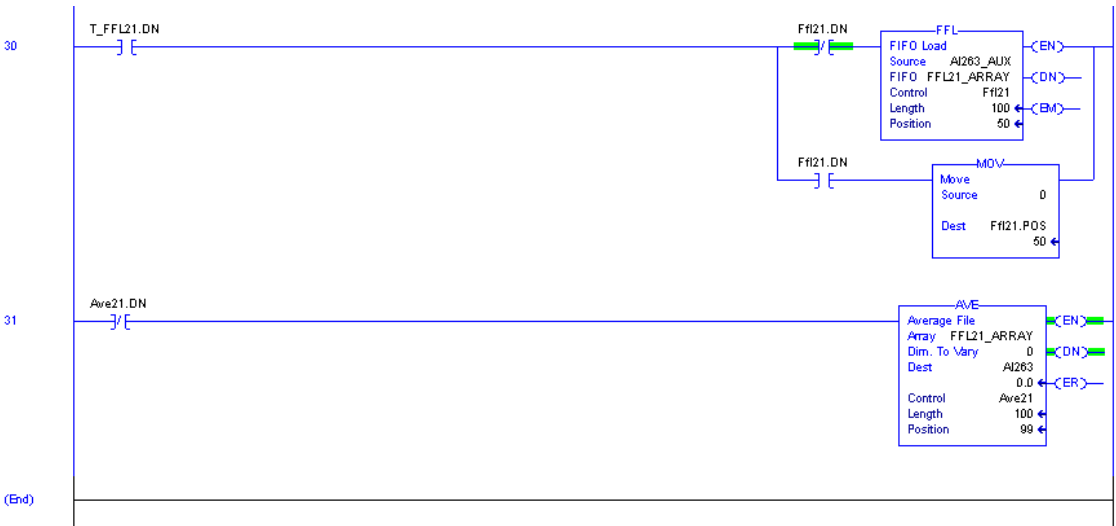


Rutina _150_PrimaryDecanter

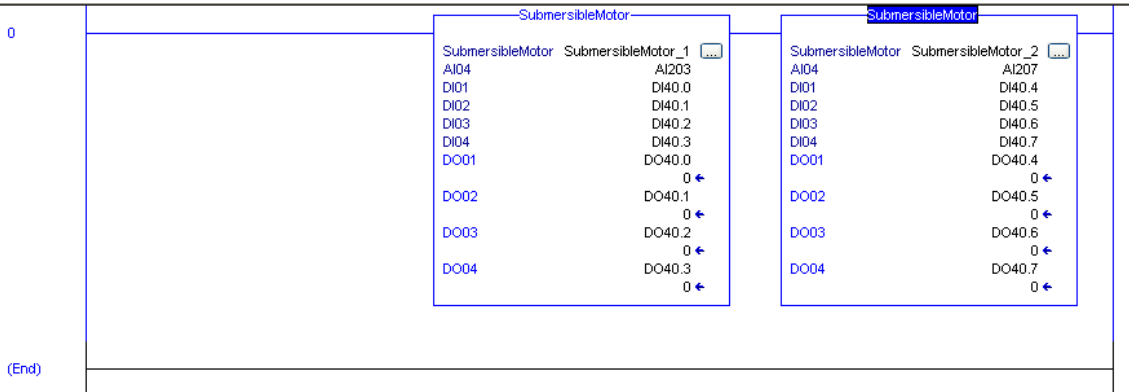




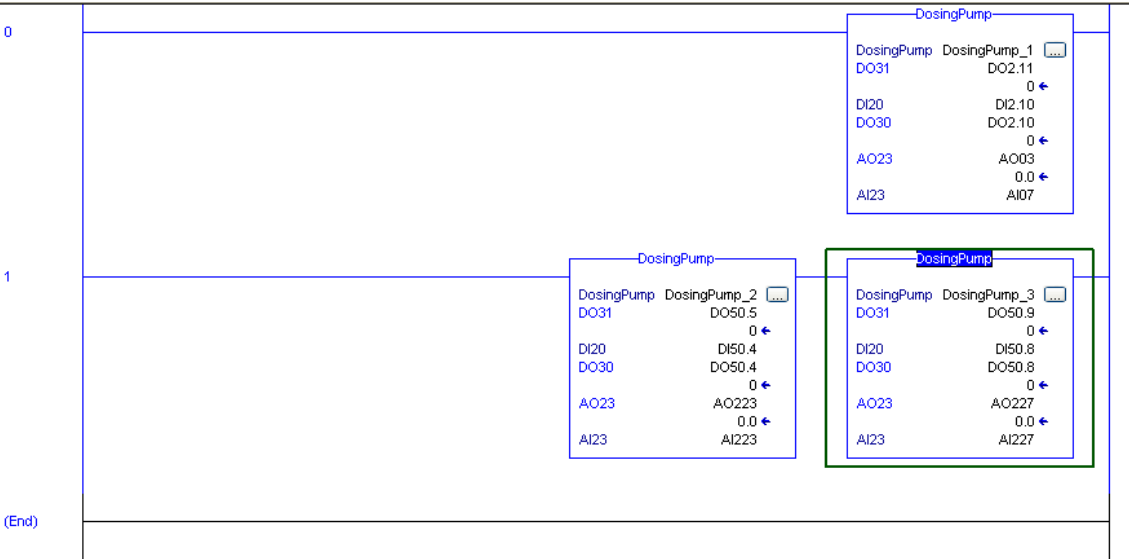




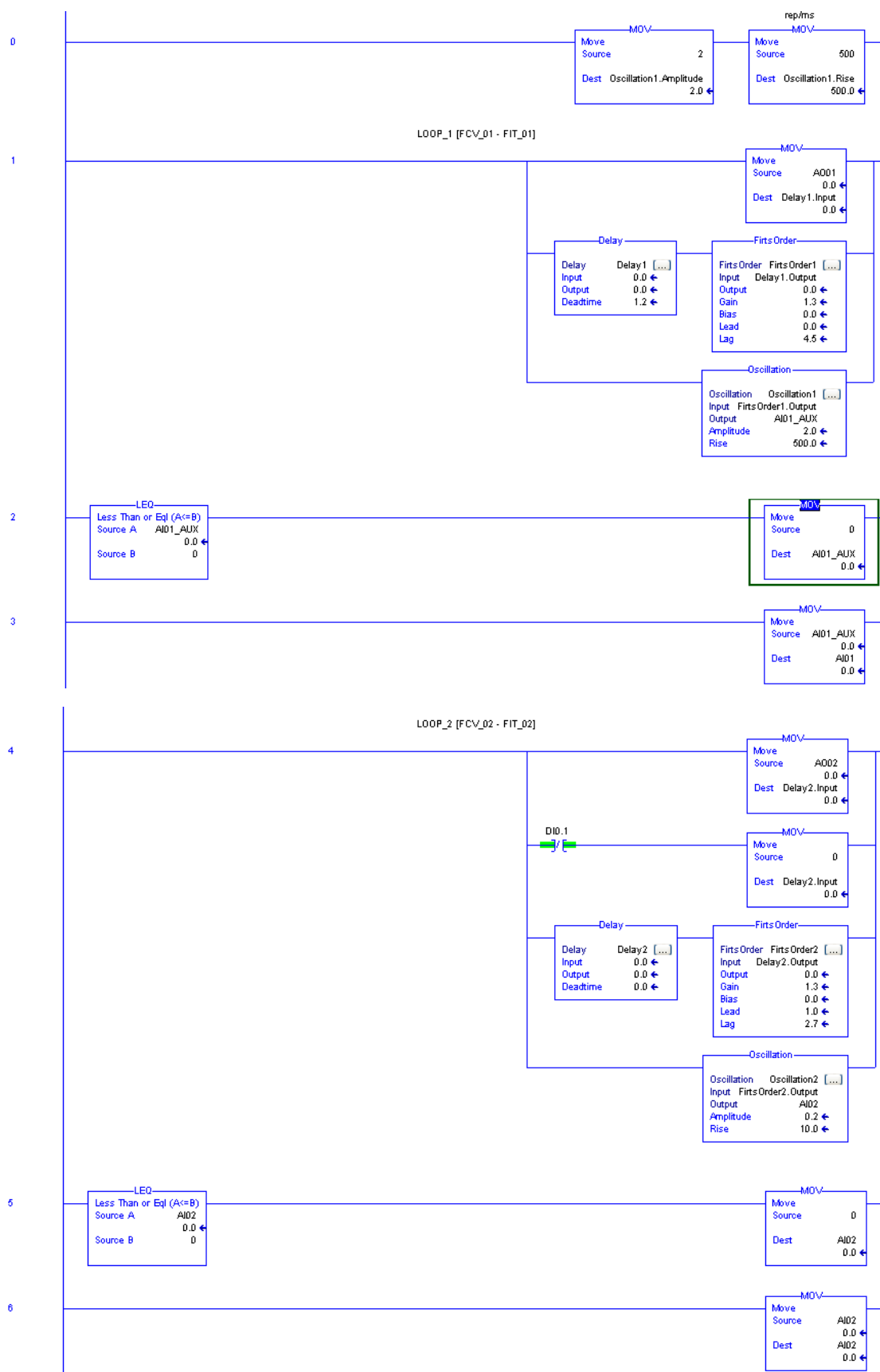
Rutina _160_SubmersibleMotor

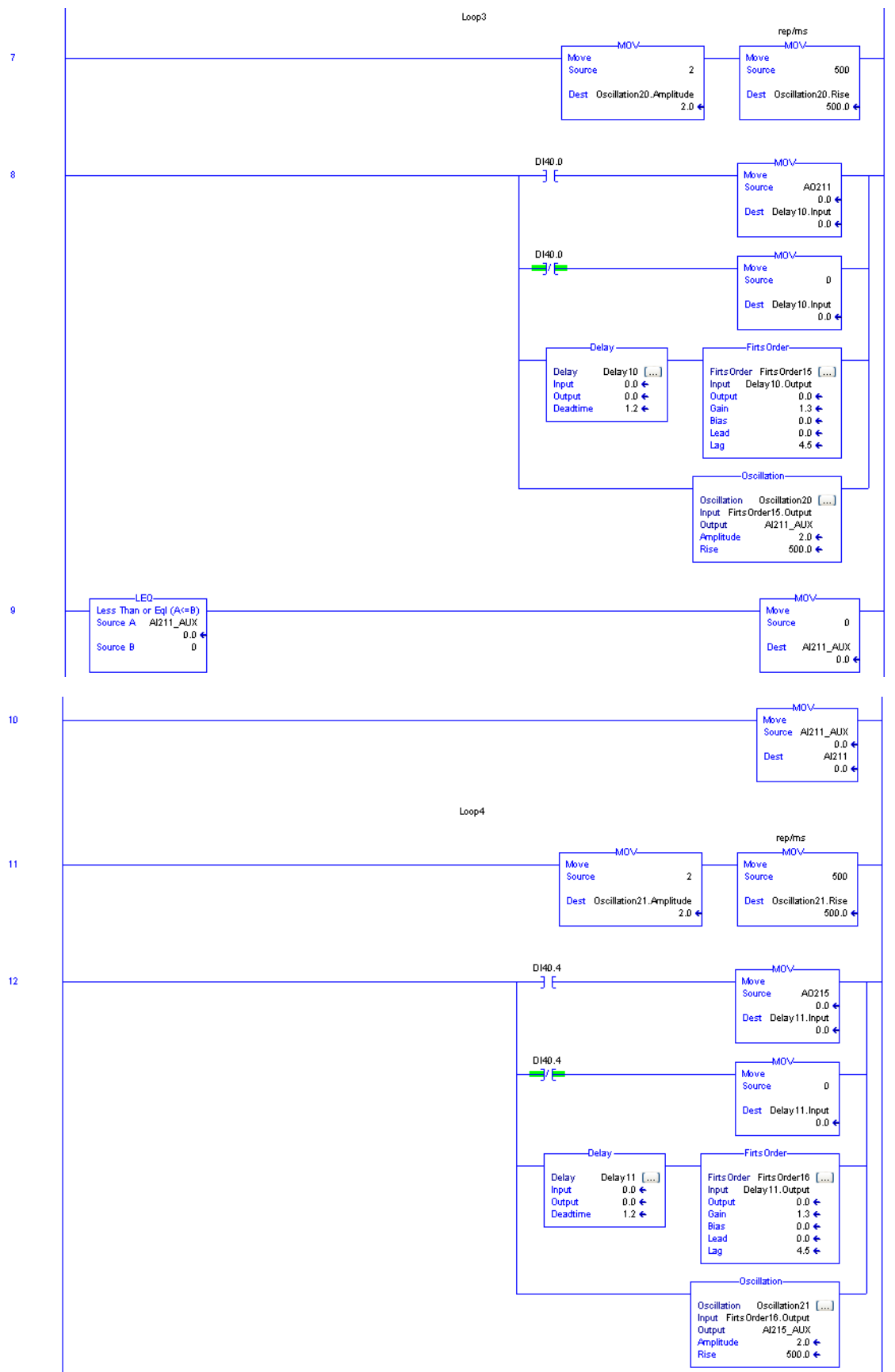


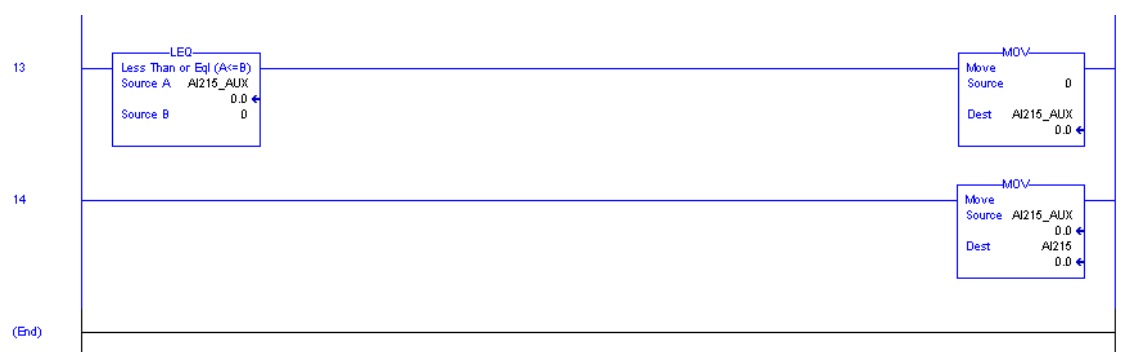
Rutina _170_DosingPump



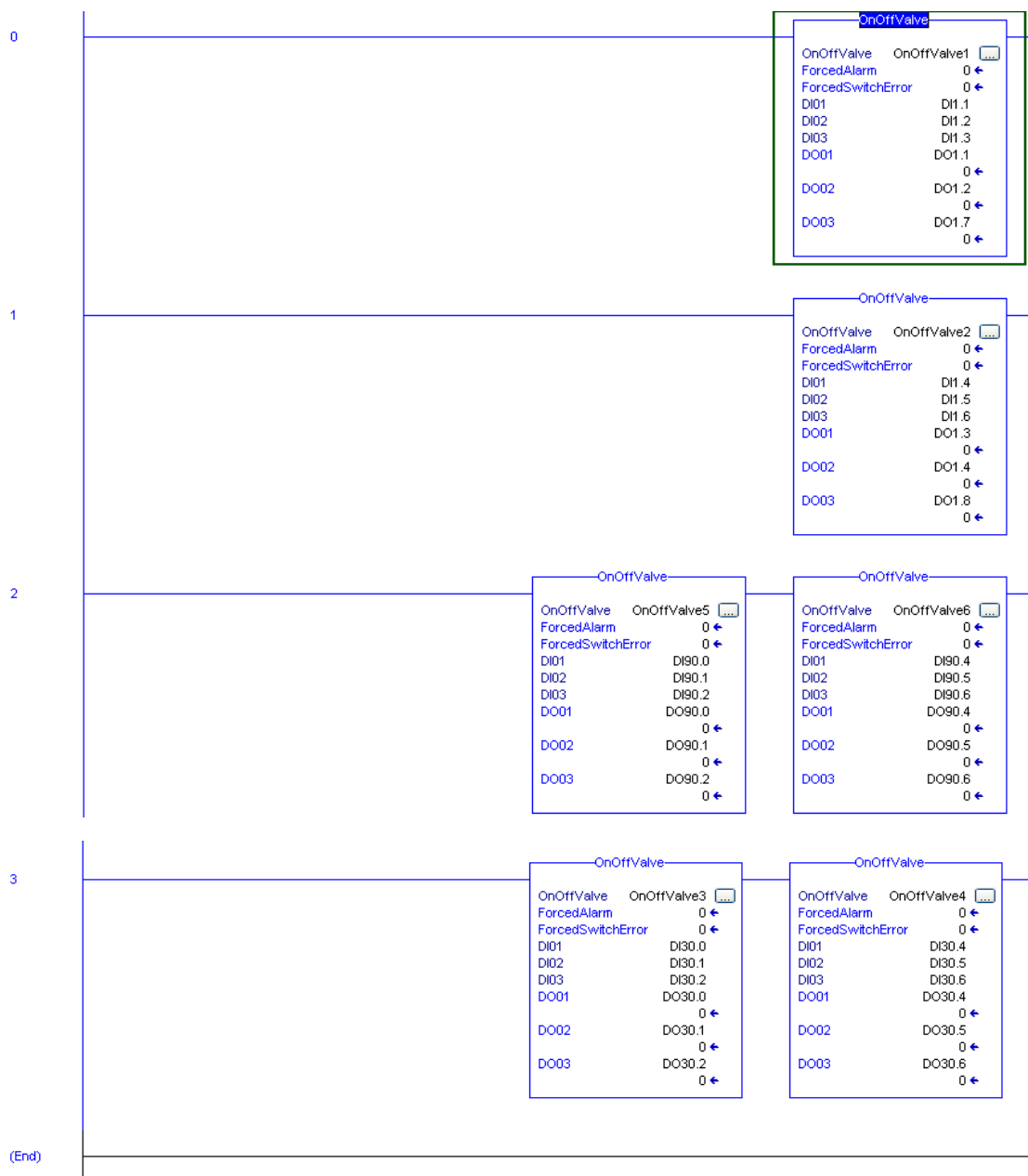
Rutina _20_Loops



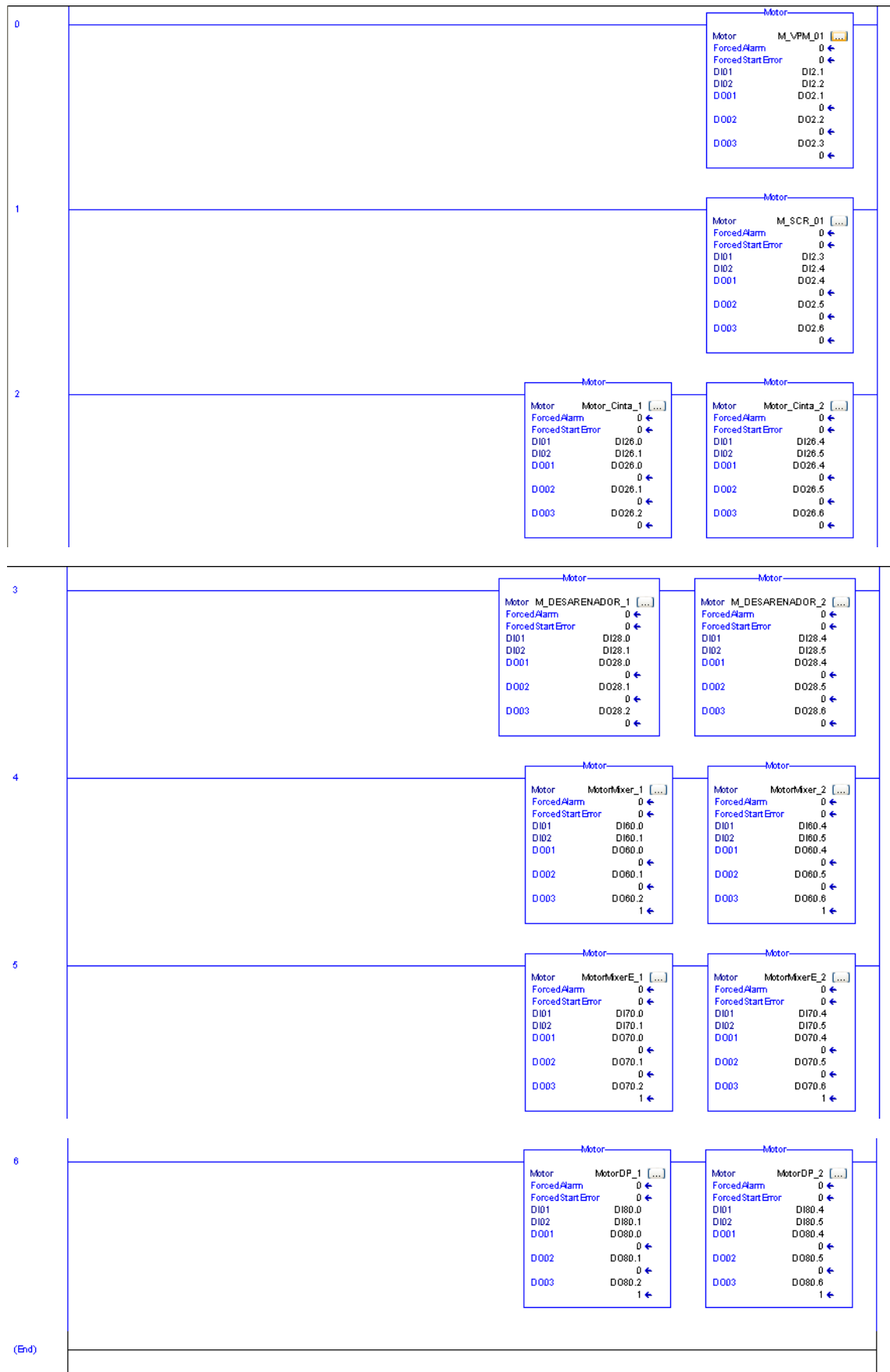




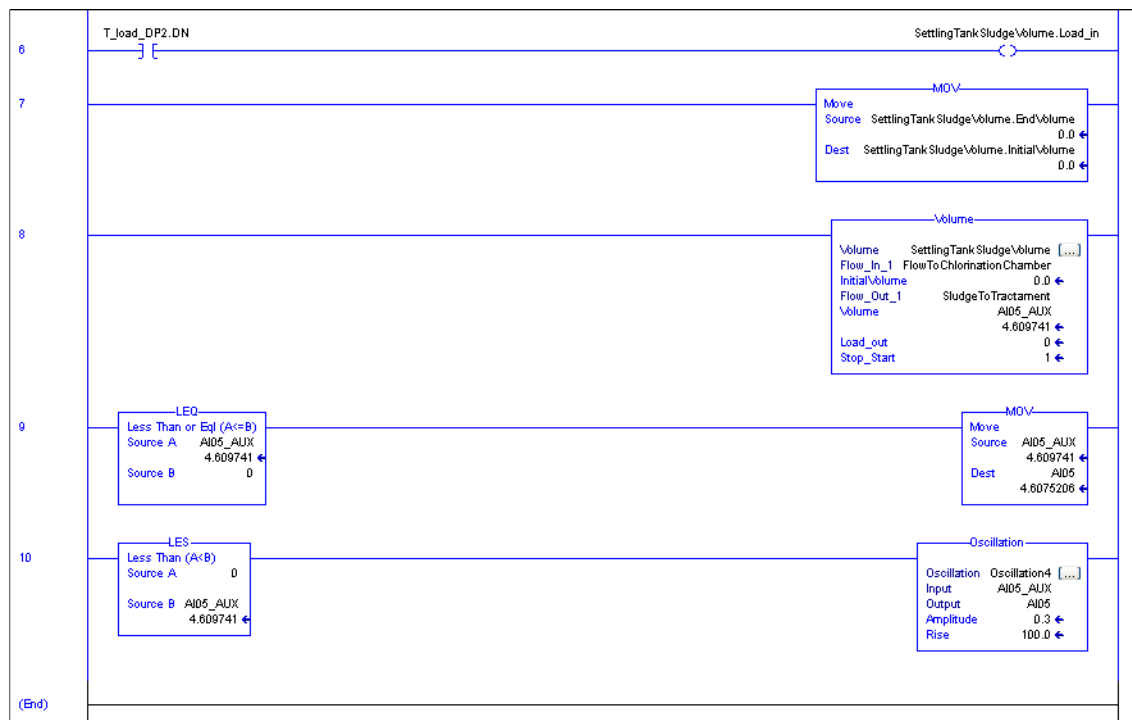
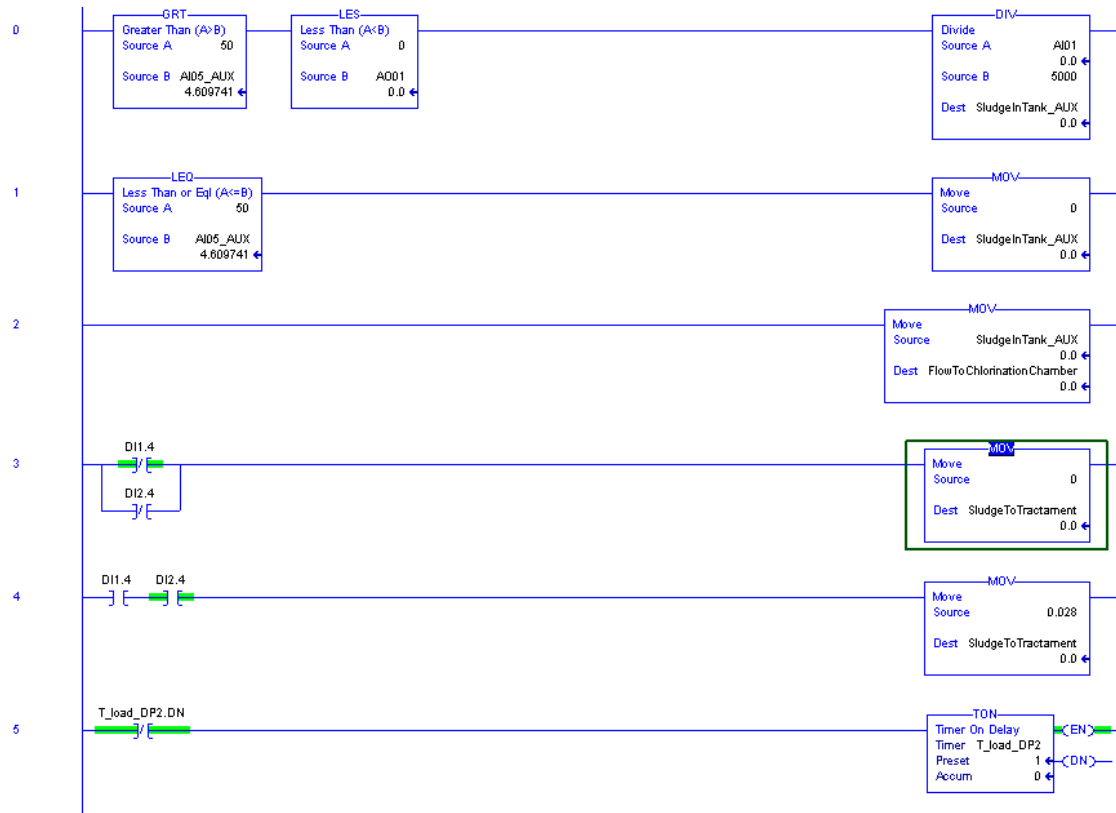
Rutina _50_OnOffValve



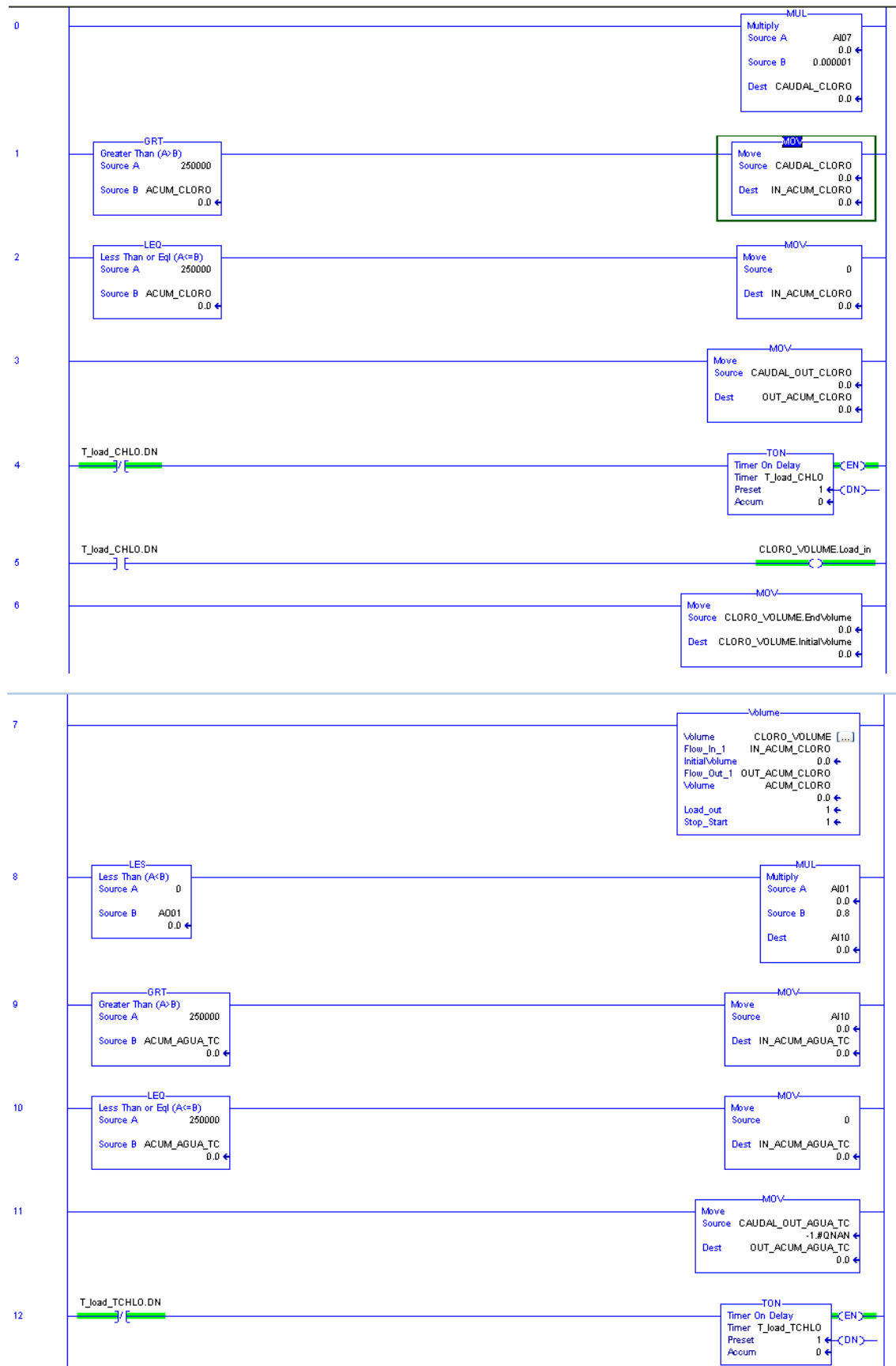
Rutina _60_Motor

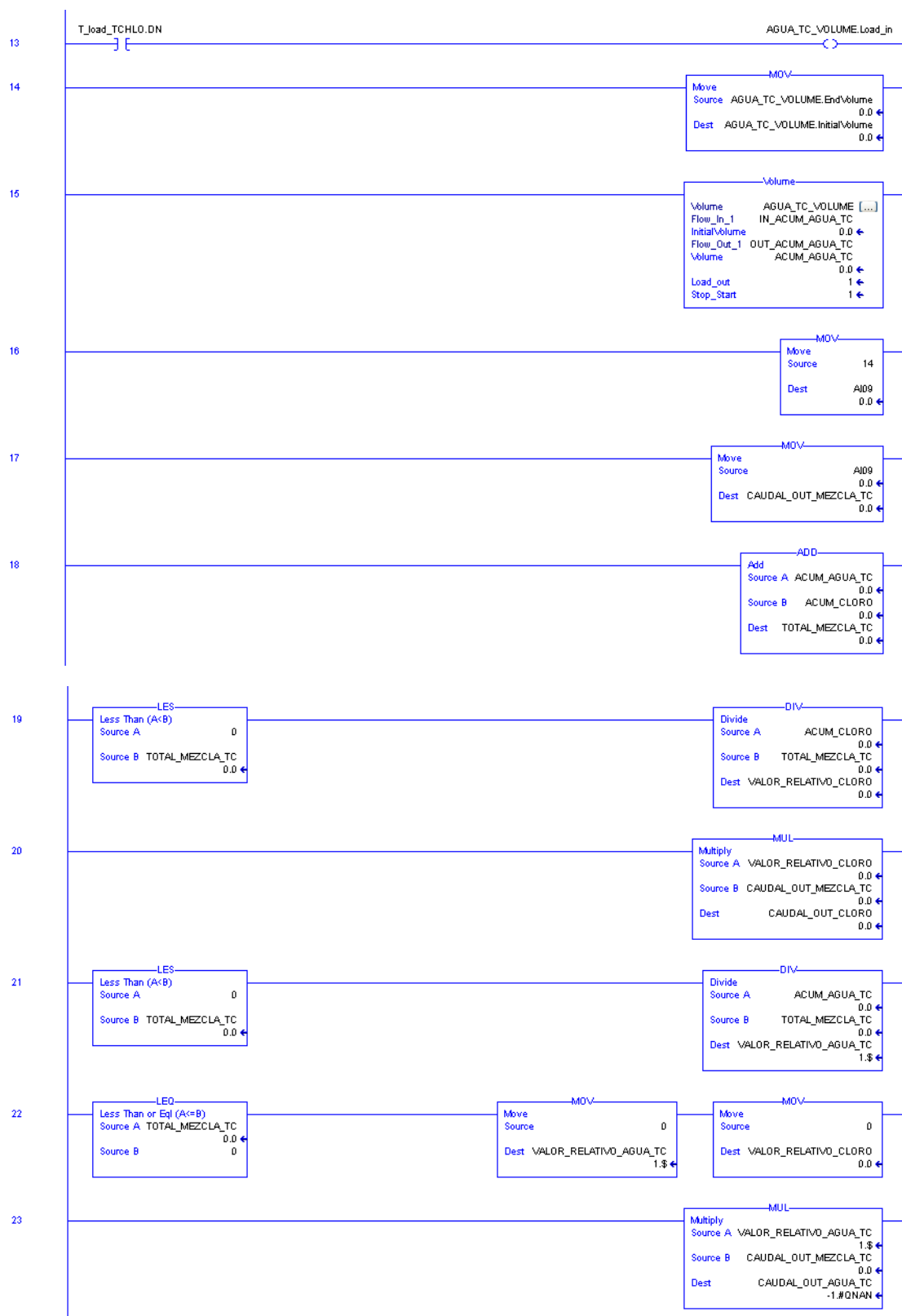


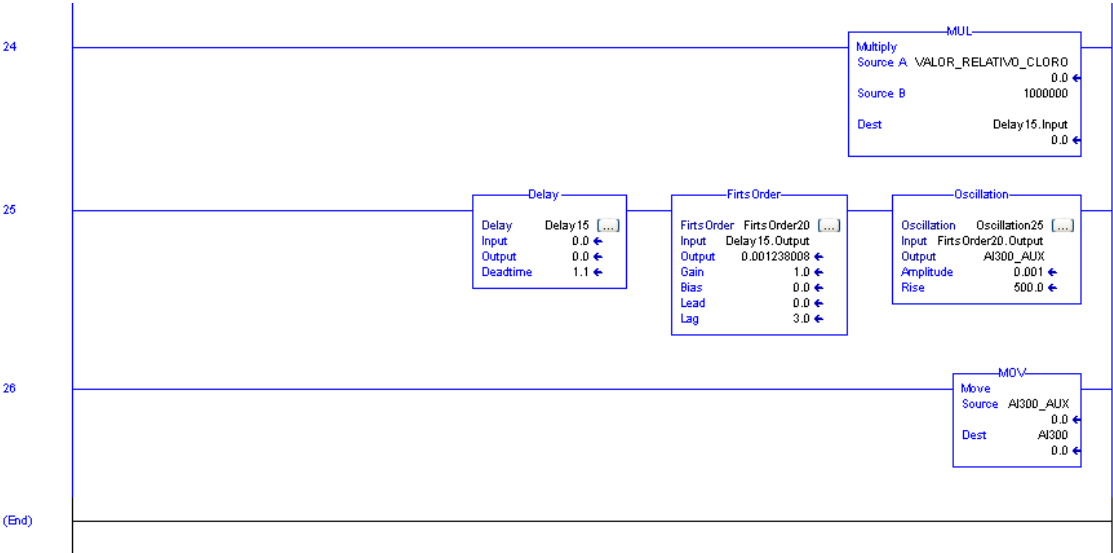
Rutina _70_Setlink_Tank



Rutina _80_ChlorinationChamber

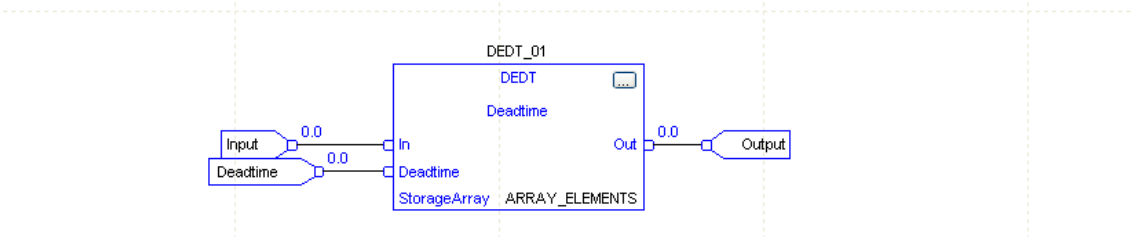




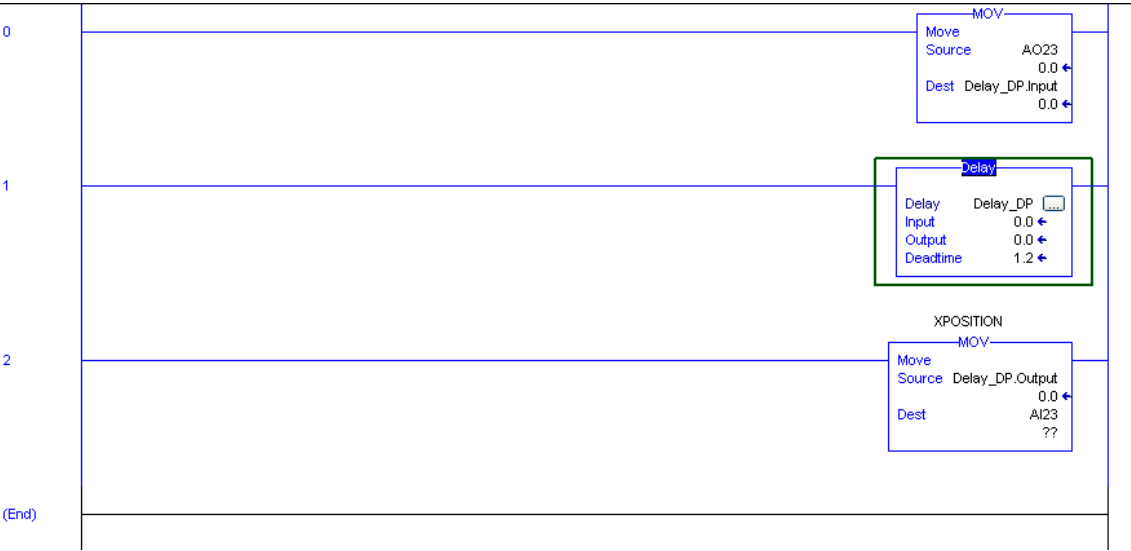


PROGRAMA ADD-ON

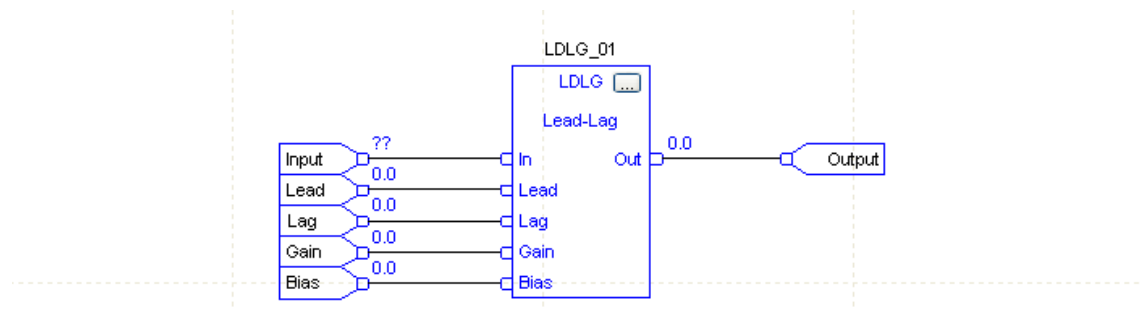
Add-On Delay



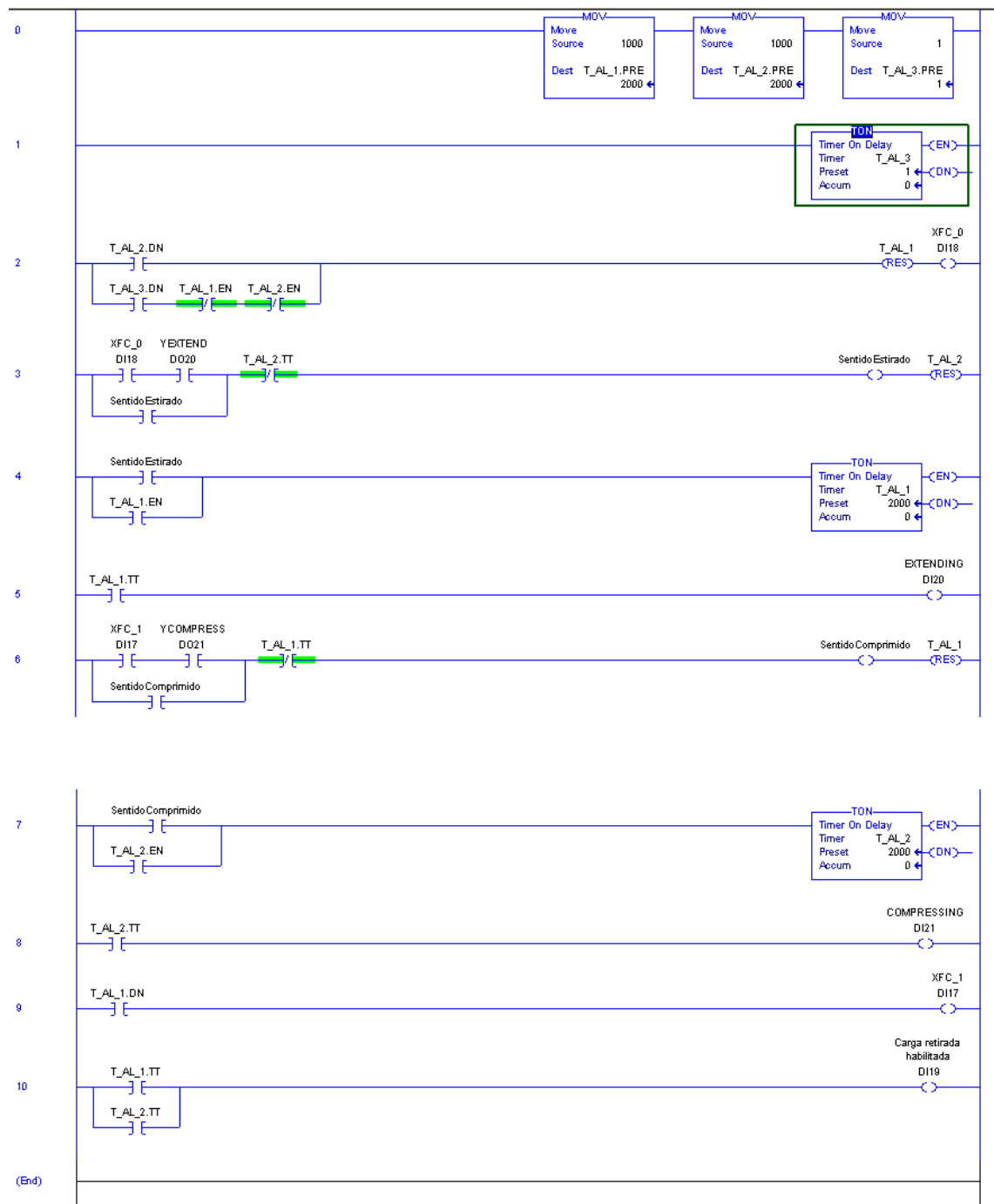
Add-On DosingPump



Add-On FirtsOrder



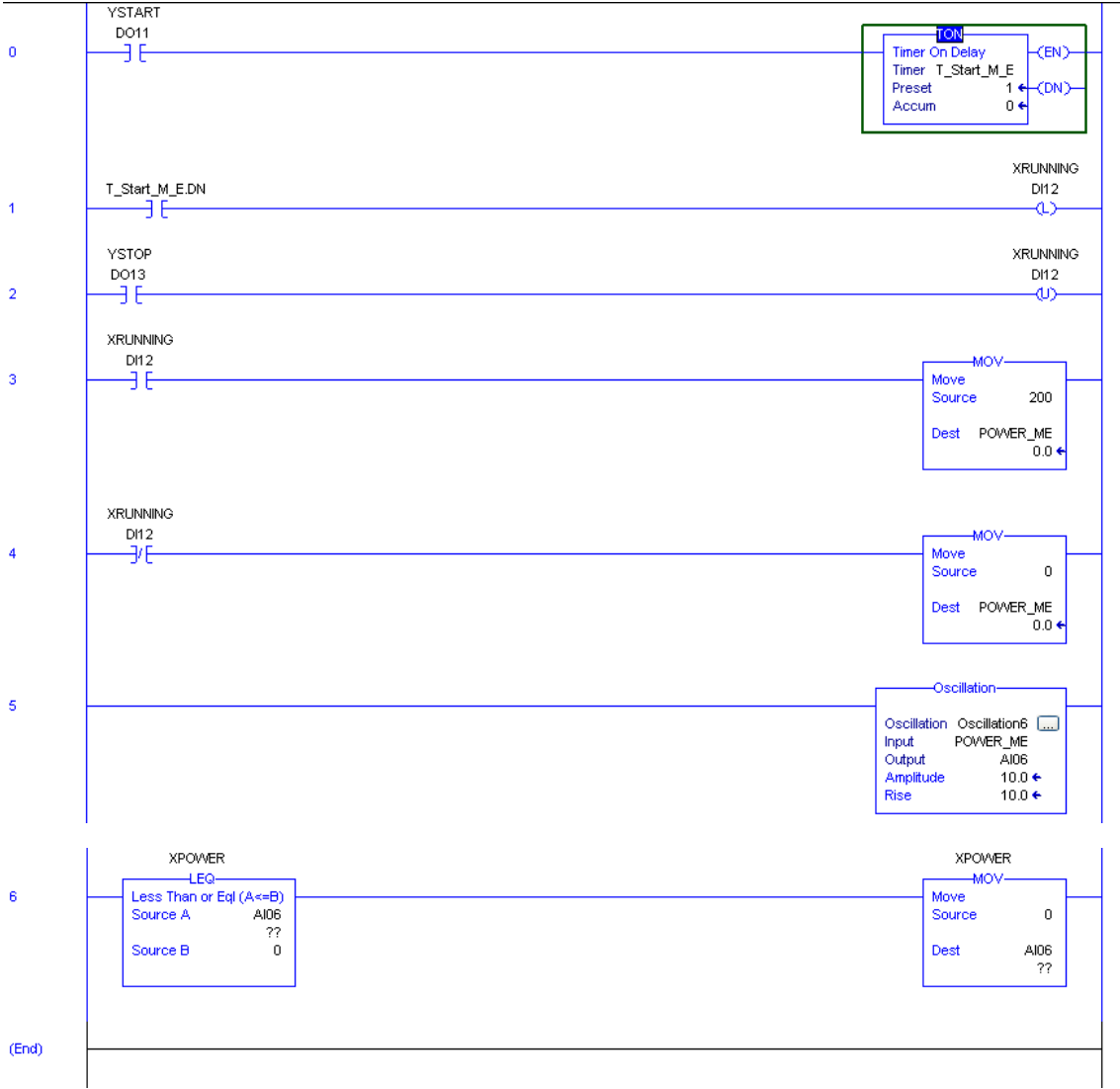
Add-On LinearActuator



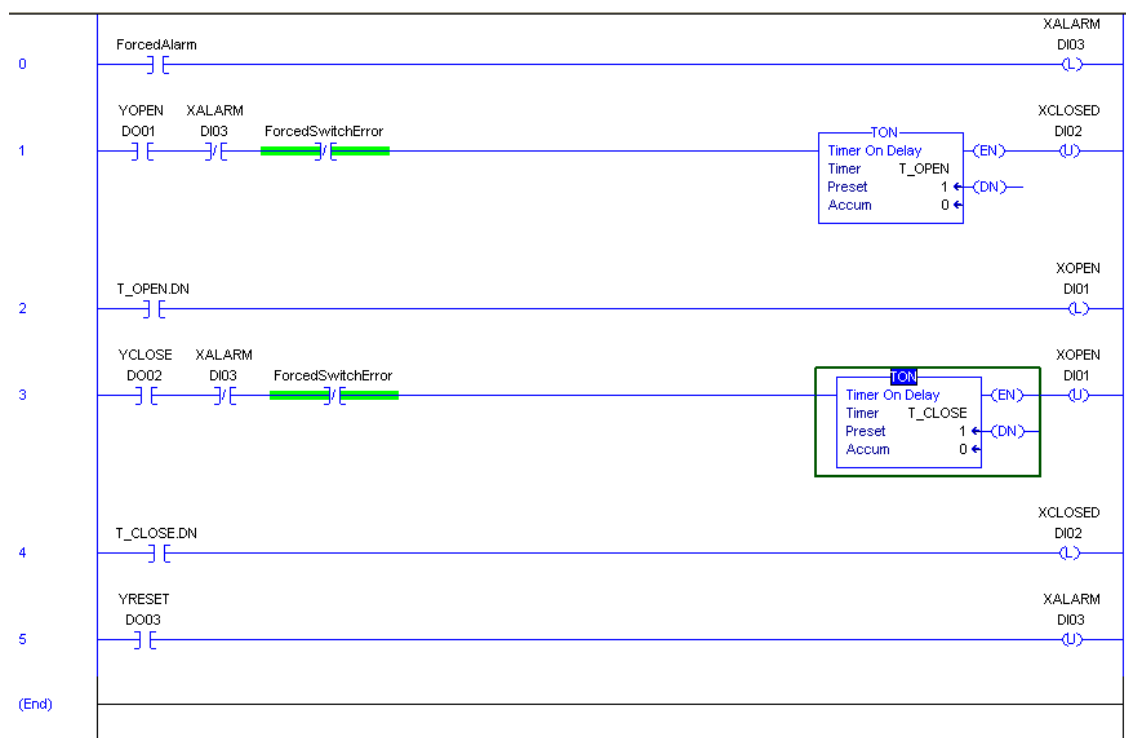
Add-On Motor



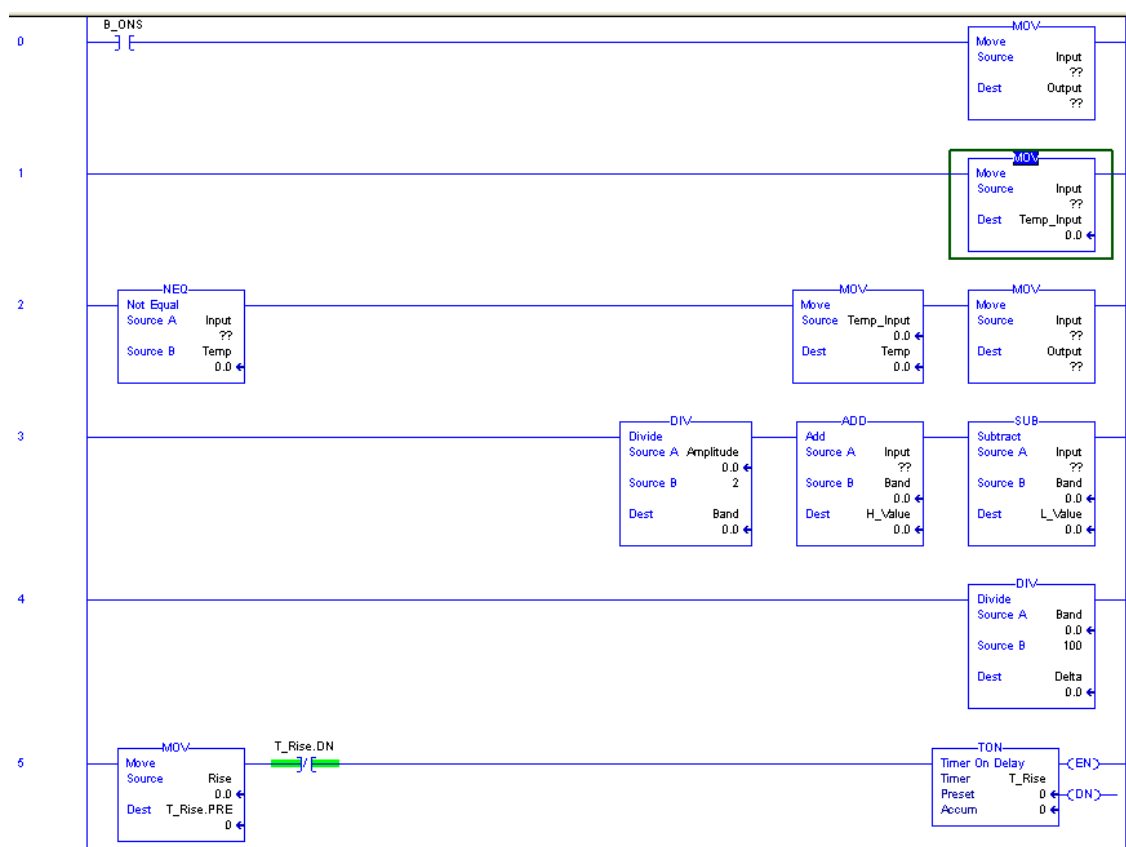
Add-On MotorElevator

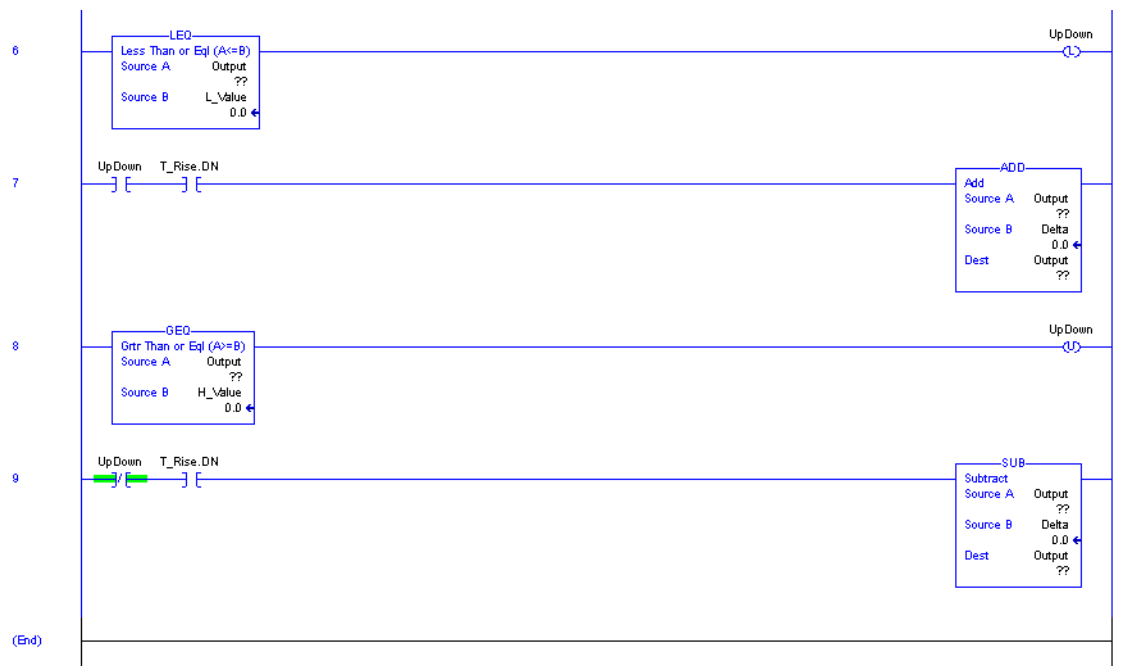


Add-On OnOffValve

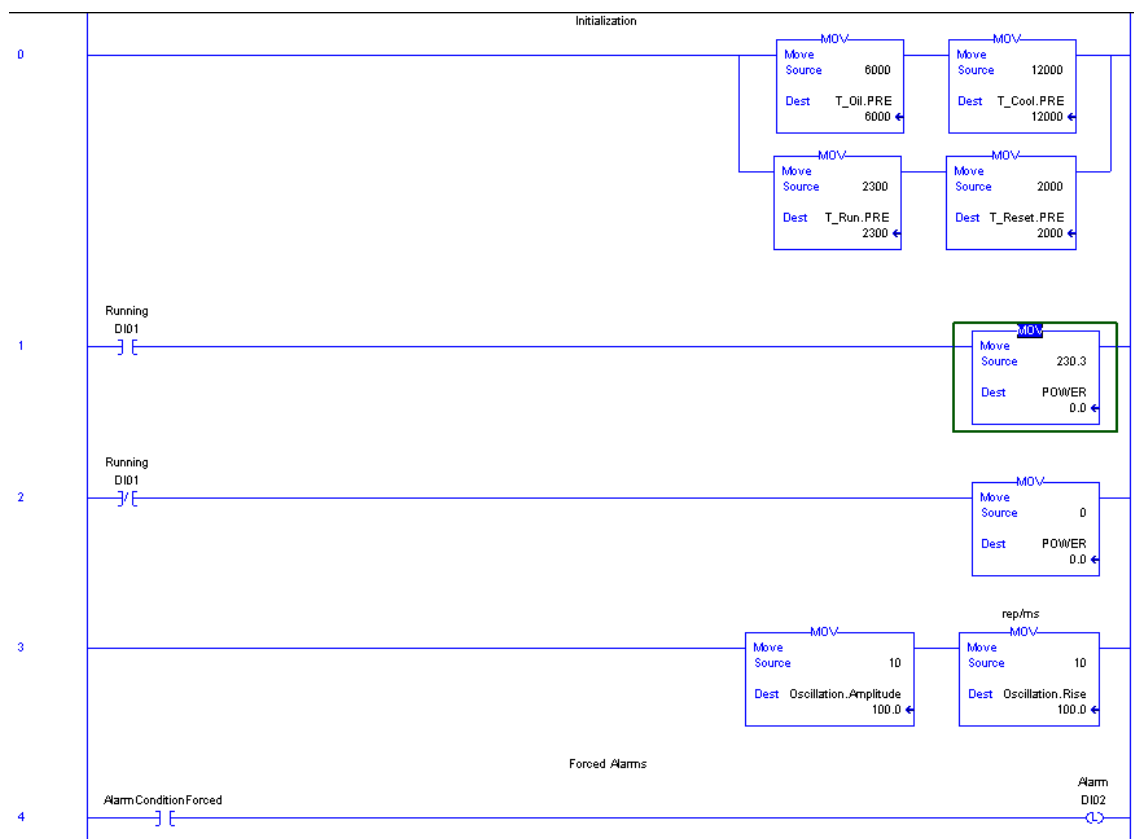


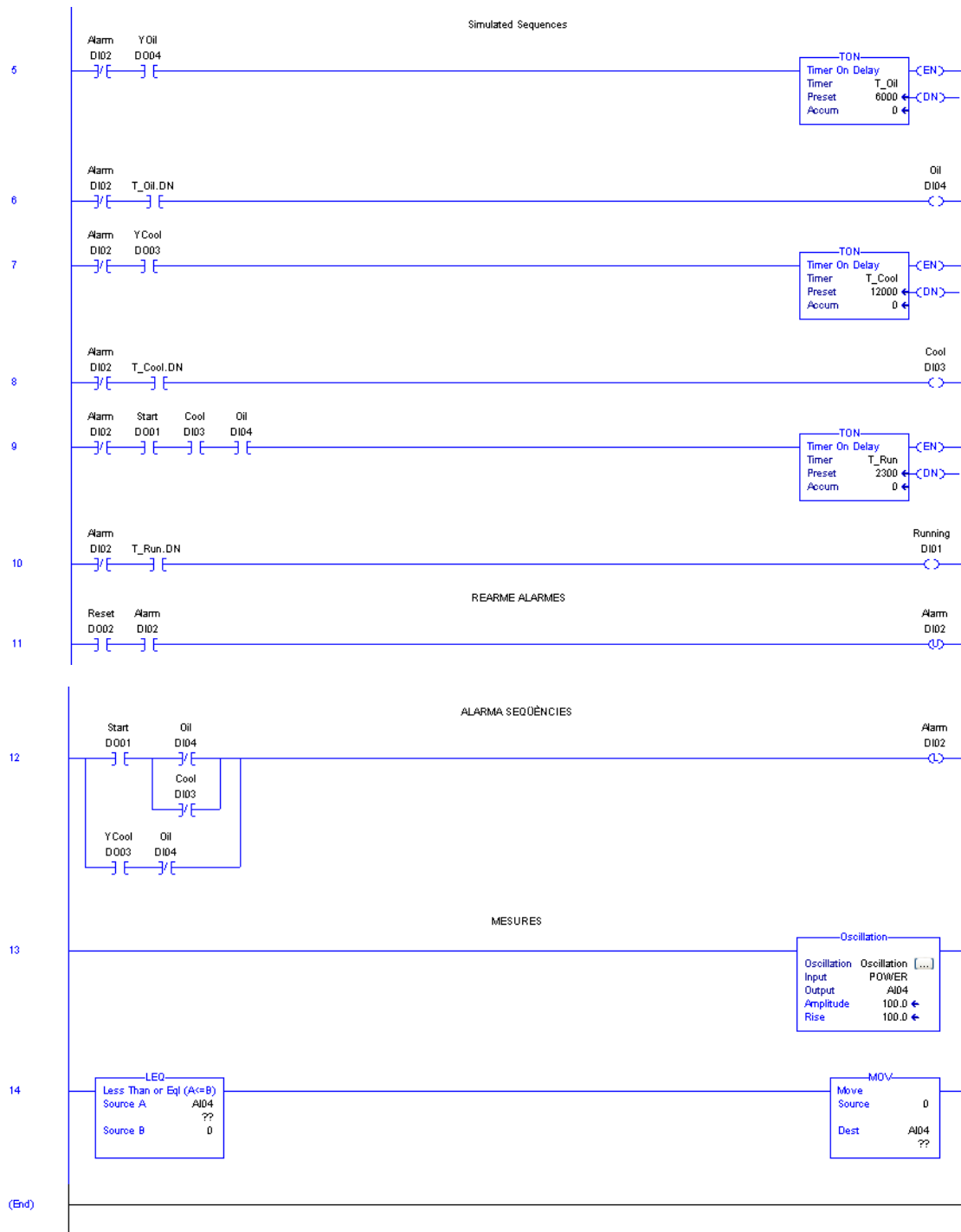
Add-On Oscillation





Add-On SubmersibleMotor





Add-On Volume

